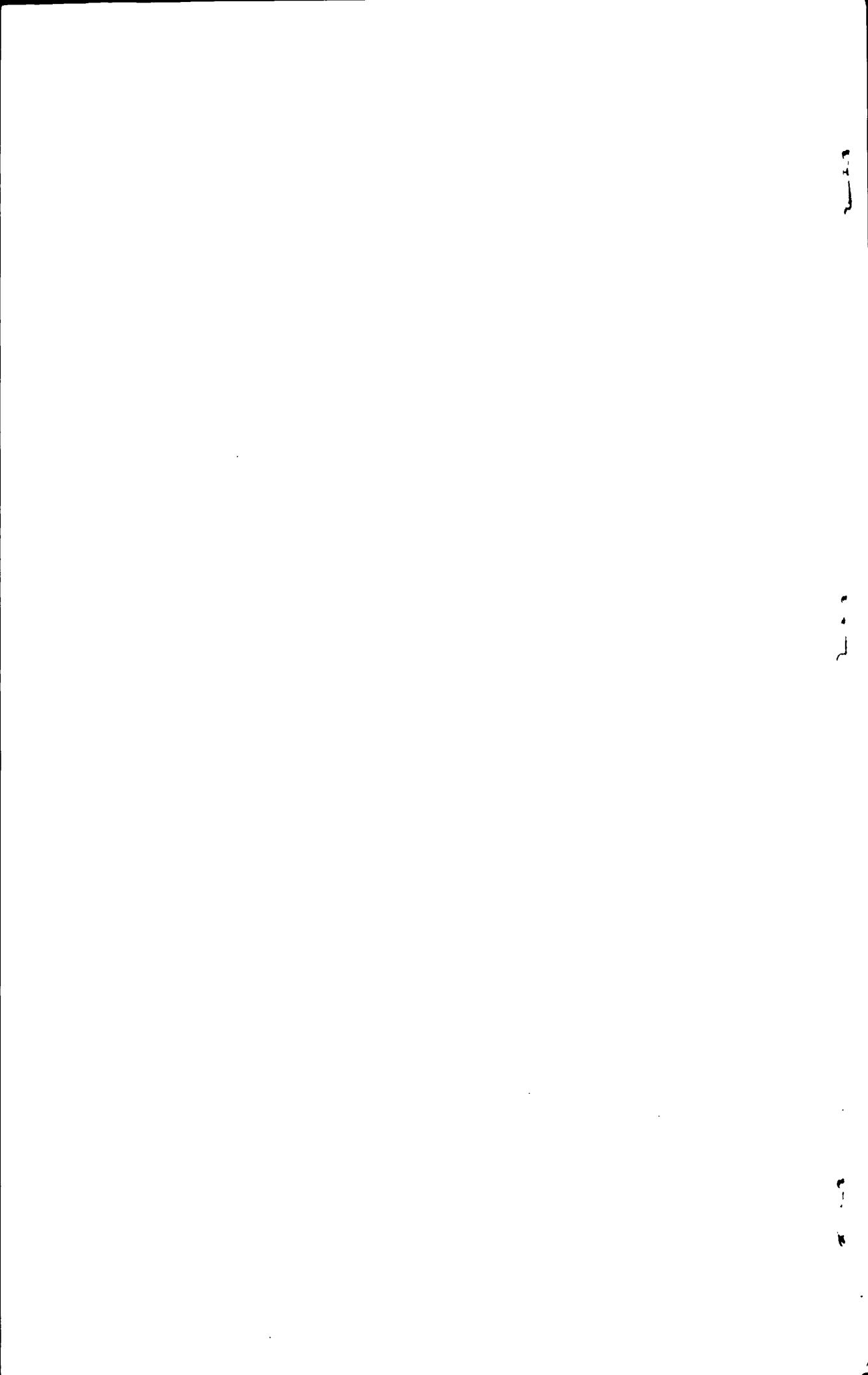


Abstract

Ecological assets was created and developed by the promotion of economic development. The birth of ecological assets breaked the traditional values of goods and let human gradually realized the existence of ecological value which is the basis to protect natural resources and ecological environment. The emergence of ecological assets completed the national economy accounting system and become the basis of sustainable development. However, ecological assets is a dynamic concept, with the further study and all round understanding, People become more and more comprehensive understanding the concept of ecological assets. Understanding and calculation of ecological assets and master a country or states ecological assets have an important practical guidance for monitoring or achieving the national or regional sustainable development.

The value calculation of ecological assets has always been the focus controversially by people, all of the things which are the choosen of parameters value and the selection of mode and the determinement of assessment indicators lack of uniformity and standards. The traditional ecological assets estimated is a point estimates which is based on measured data, Based on previous studies, the article identified a set of surface calculating ecological assets which is based on remote sensing technology. In this article we put more attention for parameters value choosen and mode selection. The article calculate the total value of ecological assets in Fujian Province and its spatial distribution, the result will provide policy guidance for the economic development of Fujian province and can help the government departments to develop and establish eco-assets management strategy. All of this can be used to protect, enhance, recover and reconstruct ecological assets, and promote social, economic and environmental sustainable development harmoniously.

Keywords: net primary productivity, remote sensing estimation, evaluation model, ecological assets



中文文摘

生态资产是生态系统生物资源直接价值及其生态服务功能价值的综合，是表征生态系统质量状况的重要的指标。生态资产是一个动态的概念，生态资产的内涵发展经历了从自然资源的资源价值到包括生态功能的服务价值，从自然生态系统的资产到经济、社会和自然复合生态系统的总资产。随着生态环境效应的日益明显，人们对环境、资源、生态等问题更加关注。生态资产评估已成近年来国际国内生态学和经济学以及政府部门研究的热点领域，已成为绿色GDP核算与生态安全评价的基础。生态资产是国民经济和社会可持续发展的物质基础和保障，是国家竞争力的重要组成部分。然而现在生态环境的破坏愈演愈烈，生物资源的数量大幅减少，土地资源的滥用屡禁不止，人类越来越被生态危机所困扰，人们把消除生态危机、构建生态文明视为当今世界所面临的最大难题。因此，深入、细致的了解和掌握一个地区的生态资产价值问题越来越受重视。

海峡西岸经济区的提出和建设将会带动以福建为中心的相关区域经济的快速发展，并有希望成为我国经济发展的第四个增长极，这一局势的出现将会改变和完善我国的经济格局，对我国的经济发展意义重大。福建作为海峡西岸的主体与中心，使得其地理区位意义更为重要，所以说对福建省进行合理的生态资产评估能更好的帮助政府部门制定和建立生态资产管理战略，并应用于生态资产的保护、增强、恢复和重建，促进社会、经济和环境的和谐可持续发展。

本文在遥感和GIS技术的支持下，运用生态学、经济学、生态经济学以及地理学知识，结合MODIS-NDVI数据、气象数据、土壤数据、植被数据以及社会经济数据，在遥感评估模型的基础上计算了福建省生态资产价值，建立了福建省生态资产空间分布图，分析了福建省生态资产价值构成特点，并与福建省GDP进行比较分析。

整个论文主要分五个章节，第一部分为绪论，论文主题为第一章到第四章，其中每部分的主要研究内容具体为：

绪论：主要介绍了本论文的选题背景、研究目的意义以及生态资产评估的国内外研究进展。

第一章：为生态资产估算的理论部分，主要介绍了生态资产评估的理论体系，评估计算方法，包括生态资产的概念、内涵和评估方法以及基于遥感的生态资产价

值评估的指标选取和模型构建，并且对传统计算方法和遥感手段的计算方法进行优势比较。

第二章：主要对研究区概况、数据处理和论文的研究内容和技术路线进行阐述。

第三章：全文重点部分，本章首先对福建省的生态系统进行分类，随后计算了福建省 NPP 分布，再对福建省单项生态资产进行评估，最后得出福建省生态资产价值和空间分布，最后是对计算结果进行验证和分析。

第四章：结果与展望部分，主要是论文结果分析，论文的不足之处和创新点。

研究结果表明：

(1) 福建省生态资产总值为 1988.14 亿元，单位面积生态资产价值为 14246.47 元/ hm^2 ，其中自然资源价值为 309.61 亿元，仅占总生态资产价值的 16%，生态系统服务功能价值为 1678.53 亿元，占总生态资产价值的 84%。

(2) 对于不同的生态功能来说：其中有机物质的价值为 309.61 亿元，气候调节价值为 1321.39 亿元，营养物质循环价值为 18.32 亿元，涵养水源价值为 153.67 亿元，水土保持价值为 185.15 亿元，这说明气候调节作用对福建省生态资产贡献最大，营养物质循环对生态资产贡献比较小，但可以通过加强营养物质循环来提高福建省生态资产价值：

(3) 对于不同的生态系统来说其价值分别为：竹林 96.67 亿元，阔叶林为 488.63 亿元，混交林为 24.09 亿元，针叶林为 890.99 亿元，灌丛为 175.28 亿元，农田为 303.90 亿元，草地为 5.87 亿元，城镇为 1.37 亿元，水体为 0.01 亿元，未利用地为 1.33 亿元。

(4) 福建省生态资产空间分布为：低值区主要分布在沿海、沿河流地区以及城镇密集地区，高值区主要分布在太姥山、戴云山、玳瑁山、博平岭山区等植被覆盖率高人为活动少的地区。而福建省不同地区生产资产总值大小关系是：南平市>三明市>龙岩市>漳州市>宁德市>福州市>泉州市>莆田市>厦门市。

(5) 福建省生态资产价值与 GDP 的关系，福建省生态资产与 GDP 基本成反比关系，例如厦门市的生态资产总值最低，生态资产均值也最低，相反厦门市 GDP 排列第三，人均 GDP 最高；而对于三明、南平和宁德地区，国民生产总值、人均 GDP 和生态资产相对大小比较稳定。

目录

中文摘要	I
ABSTRACT	III
中文文摘	V
目录	VII
绪论	- 1 -
1 选题背景	- 1 -
2 国内外研究现状	- 1 -
3 研究目的和意义	- 5 -
4 论文章节安排	- 5 -
第 1 章 生态资产评估理论与方法	- 7 -
1.1 生态资产评估理论	- 7 -
1.1.1 生态资产概念和内涵	- 7 -
1.1.2 生态资产价值构成	- 8 -
1.2 传统的生态资产评估方法	- 9 -
1.3 基于遥感的生态资产评估	- 11 -
1.3.1 生态资产评估指标选取	- 11 -
1.3.2 评估模型构建	- 13 -
1.4 基于遥感的生态资产评估方法优势	- 17 -
第 2 章 研究区数据预处理与研究方案	- 19 -
2.1 研究区概况	- 19 -
2.2 数据预处理	- 23 -
2.2.1 遥感数据与处理	- 23 -
2.2.2 气象数据与处理	- 26 -
2.2.3 其他辅助数据处理	- 27 -
2.3 主要研究内容与技术路线	- 27 -
第 3 章 福建省生态资产评估	- 29 -
3.1 研究区生态系统类型划分	- 29 -

3.1.1 生态系统分类.....	- 29 -
3.1.2 分类结果验证.....	- 30 -
3.2 植被净初级生产力 (NPP) 估算.....	- 31 -
3.2.1 NPP 模型构建.....	- 31 -
3.2.2 APAR 的估算.....	- 33 -
3.2.3 光能利用率的估算.....	- 34 -
3.2.4 福建省 NPP 分布.....	- 37 -
3.3 福建省单项生态资产价值估算.....	- 41 -
3.3.1 自然资源价值.....	- 41 -
3.3.2 生态服务功能价值.....	- 43 -
3.4 福建省生态资产评估结果统计与分析.....	- 51 -
3.4.1 生态资产价值结果统计.....	- 51 -
3.4.2 生态资产空间分布.....	- 55 -
3.4.3 生态资产与 GDP 对比分析.....	- 56 -
3.5 结果验证与分析评价.....	- 57 -
3.5.1 结果验证.....	- 57 -
3.5.2 影响因素分析与评价.....	- 58 -
第 4 章 结论与展望.....	- 61 -
4.1 结论.....	- 61 -
4.2 创新点.....	- 62 -
参考文献.....	63
攻读学位期间承担的科研任务与主要成果.....	69
致 谢	70
个人简历	71

绪论

1 选题背景

生态资产是在经济发展的推动下产生并发展起来的，生态资产的诞生打破了传统的商品价值观，逐渐使人类认识到生态价值的存在，从而为自然资源和生态环境保护找到了可靠的依据，生态资产的出现促进了国民经济核算体系的完善，成为可持续发展的基础。生态资产估算也成为绿色GDP的核算基础。

随着全球经济的快速发展，同时也出现生产格局的变化，生态环境的恶化，生物多样性的减少等种种现状，我们所处的这个生态系统是否能够承受我们地球的发展？生态系统、生态系统服务功能和作用在人类发展中处于一个什么地位和作用？这些都需要我们去考证。

福建省面临着海峡西岸建设的发展机遇，发展经济成为首要任务，但是在发展经济的同时福建省的生态环境承受能力以及生态资产价值又是什么情况？绿色GDP的保持与发展与经济发展如何相辅相成？针对这些问题，对福建省生态资产状况做一个全面了解，为福建省的整体经济发展政策提供依据，更好的帮助政府部门制定和建立生态资产管理战略，并应用于生态资产的保护、增强、恢复和重建，促进社会、经济和环境的和谐可持续发展。

2 国内外研究现状

一. 国外生态资产评估研究现状

国际上生态资产评估研究最早开始于19世纪下半叶。自从Tensley(1935年)提出生态系统概念后，以生态系统为基础的生态学研究便形成了新的科学体系，并从注重生态系统结构研究逐渐发展为向生态系统功能方向研究^[1]。20世纪90年代以后出现了生态资产的全面科学表达和生态系统的定量研究。1991年，国际科学联合会环境问题科学委员会(缩写SCOPE)组织了一次会议，讨论了如何进行生物多样性的定量研究，大会的召开促进了生物多样性与生态系统服务功能关系的研究以及生态系统服务功能评估方法的发展。1997年Daily主编的《Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem》一书指出生态系统服务是自然生态

系统和其所属物种支撑与维持人类生存的条件和过程^[2]，并对生态系统服功能的各方面进行了系统深入的研究。随后 Costanza 等的文章《The value of the world's ecosystem services and natural capital》又将生态系统服务进行划分为 17 大类^[3]，划分过程中只包括可再生的生态系统服务功能，不包括不可再生的矿产资源。这些文章的发表标志着生态系统服务价值评估研究开始成为生态学和生态经济学研究的前沿与热点。

从估算尺度看，生态资产价值评估主要集中在三个领域：全球性区域生态资产的价值评估、单个生态系统生态资产的价值评估、生态系统单项服务功能价值的评估^[5]。对全球范围的生态资产价值的估算，最具有代表性的是 Constanza 等人的研究，他的研究对于后续的相关研究具有里程碑的意义；随后，Pimentel 等人对全球生物多样性与美国生物多样性的经济价值也开展了对比研究，并得出生物多样性在废物处理、土壤形成、氮固定、化学物质的生物去除、授粉等 18 个方面的经济价值^[4]；目前国际上对生态系统单项服务功能价值或单个生态系统生态资产价值的估算大都集中在对森林和湿地生态系统的资产评估，在森林生态系统生态资产价值估算方面，代表性的有：Peters 等对亚马逊热带雨林的非木材林产品的价值评估^[5]、Tobias^[6]和 Maill^[7]等对热带雨林的生态旅游价值的研究，Hanley 等对森林的休闲、景观和美学价值的研究等^[8]；国际上对湿地生态系统的管理与服务价值的评估研究也开展的比较早，如 Turner 等对湿地的总经济价值的论述^[9]，Barbier 等对热带湿地环境功能价值的研究等^[10]。

二. 国内研究进展

我国的生态资产研究起步较晚，在 20 世纪 90 年代受 Costanza 与 Daily 研究成果的影响我国对生态资产的认识和研究也相应的进入一个活跃时期，在研究初期我国对生态资产的研究仅处在对国外生态资产研究理论的引进和模仿阶段，经过一段时间的发展我国的生态资产研究由模仿和理论引进逐步转到探索适合我们国家的生态资产评估研究。当前对生态资产的研究代表主要有以下学者^[11-18]：

表 1 国内研究学者代表

Table 1 Representatives of domestic research scholars

时间	代表作者	研究内容
1999	欧阳志云，赵景柱	中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究

1999	黄兴文, 陈百明	中国生态资产区划的理论与应用
2000	陈仲新, 张新时	中国生态系统效益的价值
2001	王健民, 王松如	中国生态资产概述
2001	谢高地, 肖玉	全球生态系统服务价值评估研究进展
2004	潘耀忠, 史培军	中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量
2005	朱文泉, 陈云浩	中国陆地生态系统生态资产测量及动态变化分析
2007	陈志良, 吴志峰	中国生态资产估价研究进展

经过近几年的发展,国家对生态环境建设工作的重视程度不断提高,我国对生态资产评估方面的研究工作也取得了很大进展,如,1995年,我国已经初步建立起了全国生态研究定位站网络系统;2001年,在北京师范大学成立“中国生态资产评估中心”;党的十七大报告首次提出“建设生态文明”,把生态文明加入到物质文明、精神文明、政治文明,形成四位一体,生态文明提出以后,全国掀起一股生态文明建设的高潮,人们越来越注意到生态环境的重要性和生态资产评估的必要性。

随着遥感技术和GIS技术的发展,把遥感技术和GIS技术应用于生态资产评估受到越来越多学者的青睐,遥感技术手段的引入使得生态资产评估由静态转到动态,实现了生态资产大尺度的动态监测,最早的生态资产研究主要是以潘耀忠,陈云浩,史培军等为首的一批学者,相关文献主要有:多尺度生态资产遥感综合测量的技术体系^[17](2002,史培军);生态资产定量遥感测量技术体系研究^[18](2003,李京);中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量^[19](2004,潘耀忠);基于MODIS数据和光能利用率模型的中国陆地净初级生产力估算研究^[20](2004,李贵才);基于GIS下宁波天童森林生态系统服务功能价值评估研究^[21](2005,胡艳琳);基于遥感和GIS的湿地生态资产定量研究^[22](2006,焦彩霞);基于土地覆盖/利用模式的云南省抚仙湖流域生态资产评估^[23](2007,刘阳);松嫩平原生态资产遥感测量与生态分区研究^[24](2008,李昭阳)。

三. 当前生态资产评估存在的主要问题及发展趋势

(1)生态资产自身的定义、概念和内涵等理论基础还不够完善不够成熟,缺乏规范标准。

(2)从生态资产评估的对象来看,生态系统服务功能价值的各方面研究都处于初级阶段,对生态系统的基础性服务功能认识还不够全面,由于生态资产是一个动

态的变化的过程, Constanza 提出的 17 大类生态服务和生态系统功能之间并不是单一的一一映射关系, 存在着交叉情况, 而国内学者对生态系统服务的选取主要是从 Constanza 所提出的 17 大类生态服务中进行几种或 17 种的选取, 这些最终导致了研究结果与实际情况的偏差, 无法从实际上进行生态系统的价值估算, 所以说对生态系统的所提供的服务功能还需要进一步的研究和探索。

(3) 计算参数的选取, 生态资产估算应用了大量的计算公式和估算模型, 在计算的过程中涉及到众多参数问题, 参数的确定直接影响到计算结果的精度, 国内生态资产的生态参数一直沿用了 Costanza 的生态参数, 由于受地域分异规律及人类活动差异影响, 不同地区和生态系统的参数取值必须进行修正。

十七大生态文明建设的提出使我国的生态资产研究迎来一个新的发展机遇, 受到越来越多的研究者、决策者和普通民众的重视, 发展势头良好, 鉴于生态资产的发展形势, 我们可以认为生态资产研究还有以下几个方面值得进一步深入研究:

(1) 生态资产理论研究, 由于生态资产概念, 内涵, 评估指标等理论问题还没有完善和规范, 所以说对生态资产理论研究有待进一步深入。

(2) 生态资产技术方法研究, 生态资产的各种估算方法都具有一定的局限性, 所以说直接从生态系统中选取能反映生态资产价值趋向的指标体系, 建立科学客观的评估方法, 对生态资产经济化与货币化具有重要的意义。

(3) 生态资产机理与驱动力的研究^[54]。目前许多学者已经认识到单纯的研究某种生态系统的服务价值总和是没有意义的, 因为有些生态系统服务功能对人类来说是无价的, 但研究由人类活动导致生态资产的流失与损益是生态资产研究的重要方向。

(4) 单一生态系统的生态系统服务功能研究和生态系统单一服务功能的研究, 生态系统又分为很多独立的系统, 除了对复合生态系统进行研究以外, 现在以草地生态系统、森林生态系统以及湿地生态系统的单项生态系统研究比较突出, 除此以外对生态系统的单个服务功能的研究也是一个研究热点, 生态系统服务功能众多, 人们在研究评估生态资产时对个各生态系统服务功能的研究不深入, 所以单独研究其中某一生态系统的服务成为一种趋势。

3 研究目的和意义

生态资产是国民经济和社会可持续发展的物质基础和保障，是国家竞争力的重要组成部分。随着生态环境效应的日益明显，人们对环境、生态和资源等领域更加关注。近年来生态资产评估已成为国际国内经济学家和生态学家以及政府部门研究的热点领域，生态资产已成为绿色GDP核算和生态安全评价的基础。目前我国面临着许多急需解决的生存条件问题，如环境污染，水土流失，气候变暖，生态退化，生物多样性减少等。所以如果知道国家生态资产情况，对于国民经济发展，生态环境建设与保护具有重要的现实意义。

虽然已有很多人对我国的生态资产进行了研究和评估，但我国仍没有完善的生态资产遥感监测系统投入应用。主要表现在缺乏测量技术的标准化和测量结果的实地检验，没有建立起来一套完整的、符合国家生态环境保护和生态环境建设实际需求的、可以产业化运行的系统，很多的测量结果不具有可比性，不能够对我国的生态资产状况进行评价，针对以上研究不足，本文将着重讨论实现生态资产遥感评估的思路与技术框架，主要包括：研究内容、研究方法与技术路线以及结果分析。

海峡西岸经济区的提出和建设将会带动以福建为中心的相关区域经济的快速发展，并有希望成为我国经济发展的第四个增长极，这一局势的出现将会改变和完善我国的经济格局，对我国的经济发展意义重大。福建作为海峡西岸的主体与中心，其地理区位意义重大，所以说对福建省进行合理的生态资产评估能更好的帮助政府部门制定和建立生态资产管理战略，并应用于生态资产的保护、增强、恢复和重建，促进社会、经济和环境的和谐可持续发展。

4 论文章节安排

整个论文主要分五个部分，第一部分为绪论，其余部分是论文正文，为第一章到第四章，其中每部分的主要内容为：

绪论：主要介绍了本论文的选题背景、研究目的意义以及生态资产评估的国内外研究进展。

第一章：生态资产估算的理论部分，主要介绍了生态资产评估的理论体系，评估计算方法，并对传统计算方法和遥感手段的计算方法进行优势比较。

第二章：主要对研究区概况、数据处理以及论文的研究内容和技术路线进行阐述。

第三章：为全文的重点，本章首先对福建省的生态系统进行分类，随后计算了福建省 NPP 分布，再对福建省单项生态资产进行评估，最后得出福建省生态资产价值和空间分布，最后是对计算结果进行验证和分析。

第四章：结果与展望部分，主要是对论文的研究成果进行总结，指出不足之处和对未来进行展望。

第1章 生态资产评估理论与方法

1.1 生态资产评估理论

1.1.1 生态资产概念和内涵

生态系统简称为“生态”，它是由生命系统和环境系统所构成的一种特殊的复合系统；“资产”是经济、财产和资本的通称，属于社会经济学范畴^[25]。而目前国内资产评估中的资产是指能给人类带来经济利益和福利的经济资源^[26]。“生态资产”是在自然资源与生态系统服务两个概念上发展起来的，是自然资源与生态系统服务的结合和统一。1997年，Costanza 在 *Nature* 上发表的《The value of the world's ecosystem services and natural capital》一文使生态资产在国内外引起了广泛的关注^[27]。1997年，国内学者黄兴文认为生态资产是所有者对其实施生态所有权并可从中获得经济利益的生态景观实体^[12]。2001年，王健民认为从广义上讲生态资产是一切生态资源的价值形式^[14]；从狭义上讲生态资产是国家拥有的，能以货币计算并能带来直接、间接或潜在经济利益的生态经济资源。同时王健民还认为生态资产是生态资源的价值形式，是人类社会总资产的重要组成部分，认识和计量生态资产是对传统资产观的重大发展，是对传统经济核算、经济统计积极评价、经济政策的重要补充和完善。随着社会经济的发展，自然系统的服务功能也被纳入到生态资产的概念范围，生态环境和资源也逐渐被认为是一种生态资产。由此可见，生态资产是一个时空变化的概念，它是一个相对概念，是指在一定的时间和空间内，自然资源和生态系统服务能够增加的以货币计算的人类福利。生态资产的内涵随着研究的深入而不断发展，从自然资源的资源价值到包括生态功能的服务价值，从自然生态系统的资产到社会、经济和自然复合生态系统的总资产。生态资产是生态系统中有形的物质资料价值和由系统产生的隐形的服务功能的价值的总和，即生态资产是由有形的生态资产和隐形的生态资产两部分组成^[58, 63]。具体表现为以实物形式的直接价值和间接贡献的间接价值，如涵养水源，环境净化，生物多样性保护，空气质量的调节，保护土壤等。

从某种意义上说，生态资产具有不可替代性，也就是说其“总价值”是无限的

^[27]，因此，分析一个生态系统或生态资产值多少钱是不可能的，也是没有意义的。不过，分析不同类型的自然资产和生态系统服务在数量和质量上的变化对人类福利的影响是有意义的（Robert 等, 1997^[28]）。

1.1.2 生态资产价值构成

生态系统所提供的间接贡献和由此给所有者增加的福利构成了生态资产的价值来源，而生态景观实体本身和生态系统所提供的直接产品并不是生态资产的价值来源，所以说，生态资产是一种巨大的无形资产。

现在存在许多价值构成分类体系，最早的价值构成系统研究主要来自于《保护世界的生物多样性》中所提出的“生物资源价值分类”（1989 年），并且此后的分类体系都是在此基础上进行补充和完善的^[29]，具体见表 2：

表 2 Mc Neely 等的生物资源价值分类^[30]

Table 2 Classification of Bio-resources Value by Mc Neely et al

直接价值	间接价值
消耗性利用价值（薪柴，野味等非市场价值）	非消耗性使用价值（科学研究，观鸟等）
	选择价值（保留对未来的选择性使用）
生产性利用价值（木材，鱼等商业价值）	存在价值（野生生物存在的伦理学价值）

在《中国生物多样性国情研究报告》中，我国学者对生物多样性的价值分类体系也做了大量研究，王健民等提出生物多样性价值包括：直接使用价值、间接价值、潜在使用价值和存在价值 4 个方面^[31]。

（1）直接使用价值。

是指生态系统产品所直接产生的价值。它主要包括粮食，木材，水果等以及工农业生产原料，直接使用价值可用产品的市场价格来直接估算。

（2）间接使用价值。

主要是指无法进行直接商品化的生态系统服务功能。如营养物质循环，气候调节，涵养水源，水土保持和维持生物多样性等功能，这些价值无法直接用市场价格

衡量。间接利用价值的评估常常需要根据生态系统功能的类型来确定。通常有防护费用法、恢复费用法、替代市场法等。

(3) 潜在使用价值。

是人们对将来能利用某种生态系统服务功能的支付意愿。人们常把潜在使用价值比喻为保险公司，潜在价值变为人们为自己确保将来能利用某种资源或效益而愿意支付的一笔保险金。潜在使用价值又可分为3大类：自己将来利用；子孙后代将来利用；别人将来利用。

(4) 存在价值。

也叫内在价值，是人们为确认生态系统服务功能继续存在的支付意愿。存在价值是生态系统本身具有的价值，是一种与人类利用无关的经济价值，即使人类不存在，存在价值仍然存在，如生态系统中的水土保持与气候调节功能等。存在价值是介于经济价值与生态价值之间的一种过渡性价值^[11]。

一般而言，生态资产价值是由以下几部分构成^[12-14,57]：

(1) 气候调节价值：包括吸收二氧化碳和释放氧气的价值，主要体现在对大气中水份和湿度的调节，气温调节以及维持大气中的二氧化碳和氧气平衡等；(2) 涵养水源价值，包括蓄水、调节径流、削洪抗旱和净化水质等所产生的经济价值；(3) 水土保持价值，包括保护土壤肥力、减少土地废弃和减轻泥沙淤积所产生的价值；(4) 净化空气价值，植被具有吸附有毒气体作用，其根系具有吸收和分解有毒污染物质，净化空气作用，减轻环境污染所带来的经济价值(5) 维持生物多样性价值，包括生态系统所提供的多样性生物生长、发育、繁殖的野生生物物种；(6) 游憩价值：生态系统为人们提供了很多游憩的机会，如观光、狩猎、露营等，这称之为游憩价值；(7) 社会价值，生态系统能够为人类提供娱乐、文化、科学的研究等功能。具有巨大的社会价值。

国内学者陈志良等在《中国生态资产估价研究进展》中总结出生态资产评估的研究主要有以下几种^[18]：以行政区域为对象估算生态资产价值，以流域为研究单元的生态资产价值测算和以单一生态系统为研究对象的估价研究。

1.2 传统的生态资产评估方法

一般来说，生态资产评估是以价值理论，产业理论，核算理论为理论基础的^[14]。

作为一种特殊的资产，生态资产评估一般遵照预期收益原则、最有效使用原则、近似精确三项基本原则。对于一项确定的生态资产而言，可以通过多种评估方法进行预算。具体介绍如下：

（1）条件价值法

条件价值法又叫假设评价法，它是在详细介绍研究对象概况的基础上，假想形成一个市场用以恢复或提高该公共商品或服务的功能，征询研究对象附近居民的支付意愿是否允许目前环境恶化与生态破坏的趋势继续存在，征询研究对象附近居民接受意愿，累积后获得该公共商品或服务总体价值的评估方法^[32]。条件价值法是现阶段最成熟的、应用最具广泛的和最有发展前途的价值评估方法。条件价值法适用于缺乏实际市场和替代市场交换商品情况下的价值评估。它的核心是直接调查和咨询人们对环境商品的支付意愿，并以支付意愿和净支付意愿来表达环境商品的价值^[12]。

（2）直接市场法

直接市场法是直接用市场价格来估算生态系统的影响，主要包括市场价值法（像农产品，木材等可以直接在市场中以价格表示的生态系统的产品或服务）、影子工程法（有些功能如涵养水源，水土保持等无法直接用市场价格计算，需要通过间接市场价格来体现）、人力资本法（主要是用于评估环境变化对人身体健康的影响）、机会成本法（又称收入损失法，国家对一片林区进行保护禁止伐木，这一规定必然导致林业部门的收入减少，这一减少的收入就称为保护森林的机会成本）等。

（3）替代市场法

所谓替代市场法就是找到某种有市场价格的替代物来间接衡量没有市场价格的环境物品的价值，又为间接市场法，替代市场法包括享乐价格法、旅行费用法、享乐工资法等^[33]。旅行费用法是根据游客的来源和消费情况，推出旅游需求曲线，从而可以计算出消费者剩余来作为生态资产的价值；享乐价值法主要应用于房地产开发周围生态环境价值的估算。

（4）调查评价法

调查评价方法主要包括 5 个部分，分别为投标博弈法、预算分配法、无费用选择法、优先性评价法、函询调查法等方法^[14]。其中预算分配法适合于一个国家、地区或者是部门和个人，是对某一项预算所作出的经费预算；无费用选择法有两种选择，一种是市场买不到的无价格的“环境商品”，另一种是市场上可以买到的商品，

被调查人选择其中一种自己满意的。函询调查法（特尔菲法），是通过多次直接询问专家来评定自然生态环境资源的；价值优先性评价法是模拟完全竞争市场的机制，然后找到“环境商品”的支付意愿或价值表现形式。

1.3 基于遥感的生态资产评估

1.3.1 生态资产评估指标选取

生态资产的价值包括自然资源价值和生态系统服务功能价值两部分，自然资源价值可以直接通过市场价值法求取，而生态系统服务功能部分则需要建立生态资产评估指标。Costanza(1997)把生态系统服务分为 17 大类。具体为^[3]：

表 3 Costanza 生态服务功能指标体系

Table 3 Index system of ecological services by Costanza

序号	生态系统服务	生态系统功能	举例
1	气体调节	大气化学成分调节	CO ₂ /O ₂ 平衡, O ₃ 防止外线
2	气候调节	全球温度、降水及其它由生物媒介的全球及地区气候调节	温室气体调节, 影响云形成 的 DMS 产物
3	干扰调节	生态系统反应对环境波动的容量、衰减和综合	风暴防止, 洪水控制, 干旱恢复等生境对主要植被结构 控制的环境变化的反应
4	水调节	水文流的调节	为农业、工业和运输提供用水
5	供水	水的贮存和保持	向集水区、水库和含水岩层供水
6	控制侵蚀和 保持沉积物	生态系统内的土壤保持	防止土壤被风、水侵蚀, 把淤 泥保存在湖泊和湿地中
7	土壤形成	土壤形成过程	岩石风化和有机质积累
8	养分循环	养分的存储、内循环和获取、 易流失养分的再获取、过多 或外来养分	固氮, N、P 和其他元素及养分 循环

9	废物处理	化合物的去处或降解	废物处理, 污染控制, 解除毒性
10	传粉	花植物配子运动	提供传粉者以便植物种群繁殖
11	生物控制	生物种群的营养动力学控制	关键捕食者控制猎物种群, 高级捕食者使食草动物减少
12	避难所	为定居和迁徙种群提供环境	育雏地, 迁徙动物栖息地, 当地收获物种栖息地或越冬场所
13	食品生产	总初级生产中可以用为食物的部分	通过渔猎采集和农耕收获的鱼、鸟、水、果作物等
14	原材料	总初级生产中可以用为原材料的部分	木材、燃料和饲料产品
15	基因资源	独一无二的生物好产品的资源	医药, 材料科学产品, 用于农作物刚吧那个和抗植物感染的基因
16	休闲娱乐	提供休闲娱乐活动机会	生态旅游、钓鱼运动及其它户外游乐活动
17	文化	提供非商业性用途的机会	生态系统的美学、艺术、教育、精神及科学价值

Costanza 所分的生态系统服务和生态功能并不是一一映射的关系, 存在多元映射的情况。而基于遥感的生态资产评估主要是从宏观角度进行考虑的, 根据我国学者在这方面的研究(欧阳志云, 1999; 黄兴文, 1999; 陈仲新, 2000; 李京, 2003^[11-13, 19]), 可以确定基于遥感的生态服务功能指标如下:

表 4 基于遥感的生态服务功能指标

Table 4 Indicators of ecosystem services based on remote sensing

序号	生态系统服务	生态系统功能
1	太阳能的固定与食品生产	生产有机物质
2	促进营养元素循环	营养物质循环与贮存
3	水调节与供水	涵养水源
4	控制侵蚀和保持沉积物	保持土壤
5	气体调节	吸纳二氧化碳
6	气体调节	释放氧气
7	废物处理	净化环境污染

本文从论文研究的目的、研究方法特点以及所收集的数据和参数获取的可能性来考虑，最终确定了如下生态资产评估指标，这些生态资产评估指标应用最为成熟，参数反演可以由遥感数据得到，具体如图 1 所示：

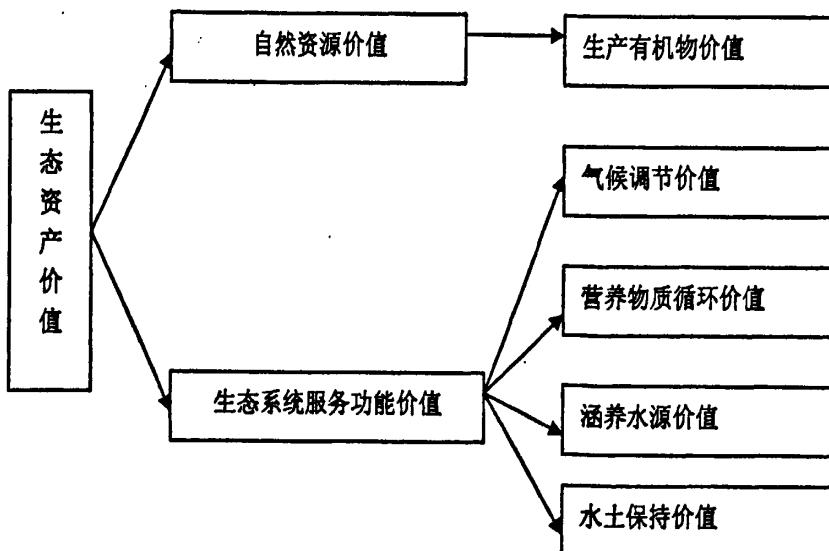


图 1 生态资产评估指标

Fig 1 Ecological assets assessment indicators

1.3.2 评估模型构建

(一) 生态资产遥感评估的概念模型

Costanza 等人最先对全球生态资产进行测算，并为建立基于遥感的生态资产评估模型提供了理论基础和可借鉴的方法。传统的生态资产评估是以地面定点观测为主，然后对观测值进行插值，进而由点的观测数据变成区域估算值。这种方法费时费力，成本高，效率低，而遥感的出现则大大降低了生态资产评估的成本和时间，现阶段国内外学者开始大量使用“3S”技术，建立基于遥感的生态资产测量和评估的技术体系。

一定区域的生态资产总量是一个随时间而变化的变量，它是这个区域内自然资源价值和生态系统所提供的服务的总和。同一时间段内不同生态系统的生态资产总量不同，而同一生态系统的生态资产总量随时间空间的变化也会不尽相同。一定区域内的生态资产价值总量 (V) 可以表示为：

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

其中: $i=1, 2, \dots, n$, 表示生态系统的生态类型; V_i 表示第 i 类生态系统的生态资产价值。

$$V_i = \sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^m R_{ab} \times V_{ia} \times S_{ab} \quad (2)$$

其中: $a=1, 2, \dots, n$ 表示第 i 类生态系统中的第 a 种生态服务功能; V_{ia} 表示第 i 类生态系统的第 a 种生态服务功能类型的单位面积; $b=1, 2, \dots, m$ 表示一定区域内 V_{ia} 在空间上分布的斑块数, S_{ab} 表示各个斑块数的面积大小, R_{ab} 表示 V_{ia} 在不同斑块的调整系数, 它是由生态系统的质量状况决定的。

$$R_{ab} = F(A_1, A_2, \dots, A_n) \quad (3)$$

其中: A_1, A_2, \dots, A_n 表示生态系统质量状况的生态参数, 不同质量状况的同一生态系统类型的 V_{ia} 是不同的, 其差别由 R_{ab} 来调整。

(二) 单项生态生态资产价值的遥感评估模型

(1) 有机物质价值计算

$$Vn(x) = NPP(x) \times T(x) \quad (4)$$

$$Vn = \sum Vn(x) \quad (5)$$

式中, $Vn(x)$ 是像元 x 处每年生产的有机物质价值 (元), $NPP(x)$ 是像元 x 处每年生产的有机物质 (gC), $T(x)$ 是像元 x 处有机物质的单位价值 (元 $\cdot g^{-1}C$) (在此取值为 2.3718×10^{-4} 元 $\cdot g^{-1}C$), Vn 是区域每年生产有机物质的价值 (元)。

(2) 气候调节价值

植被具有光合作用, 在进行光合作用过程中, 植被可以吸收 CO_2 和 H_2O 生成单糖等碳水化合物以及 O_2 。所以说植被具有气候调节作用, 它既是大气中 CO_2 的消耗者和固定者, 又是 O_2 的制造者, 它对大气调节有着重要作用, 既维持了地球上 CO_2 和 O_2 的动态平衡, 减少温室效应, 又为人类生存提供物质基础。

光合原理为:



由上面的分析可知气候调节价值主要包括吸收 CO_2 的价值和释放 O_2 的价值, 计算方法均是以生态系统有机物质生产为基础, 根据光合作用和呼吸作用的反应方程式推算出气候调节价值, 具体计算公式为:

$$Vr(x) = \alpha \times NPP(x) \times R \quad (7)$$

式中, $Vr(x)$ 为像元 x 处每年吸收 CO_2 的价值或释放 O_2 的价值 (元); α 为方程系数, 即每形成 $1g$ 的干物质, 需要 CO_2 或 O_2 多少 g ; R 分别为碳税法中碳的价格

和工业制氧的价格。 α 和 R 的取值具体见表 5:

表 5 气候调节参数取值

Table 5 Climate regulation parameter values

	α	R
CO ₂	1.62	3.36×10^{-4} 元 $\cdot g^{-1}CO_2$
O ₂	1.2	4.0×10^{-4} 元 $\cdot g^{-1}O_2$

(3) N、P、K 等营养物质循环的价值

在对生态系统营养物质循环的价值进行评估时，是以生态系统的生物量和净初级生产为基础，并根据各个生态系统中 N、P、K 的质量分配率来计算，具体计算公式如下：

$$Va = Vna + Vpa + Vka \quad (8)$$

式中， Va 为区域每年吸收的营养物质的总价值（元）； Vna 为区域内每年吸收氮元素的价值（元）； Vpa 为区域每年吸收磷元素的价值（元）； Vka 为区域每年吸收钾元素的价值（元）。

$$Via(x) = NPP(x) \times r_{i1} \times r_{i2} \times M_i \quad (9)$$

$$Via = \sum Via(x) \quad (10)$$

式中， $Via(x)$ 是像元 x 处每年吸收的 i (N, P, K) 元素的价值（元）； $NPP(x)$ 是像元 x 处每年生产的有机物质 (gC)； r_{i1} 是不同生态生态系统中 i 元素在有机物质中的分配率，在此引用刘阳 (2007) 中的参数，具体见下表 6^[23]； r_{i2} 是纯 i 元素折算成化肥的比例，在这里 N、P、K 分别取值为 74/14、506/62、174/78； M_i 是第 i 种肥料的平均价格 (元 $\cdot g^{-1}$)，其中 N 为 400 元/t，P 为 350 元/t，K 为 300 元/t； Via 是研究区内每年吸收的 i 元素的价值（元）。

表 6 各生态系统营养物质分配率 ($g \cdot g^{-1}$)Table 6 Assigned rate of N、P、K of the ecosystems ($g \cdot g^{-1}$)

项目	林地	灌丛	草地	水田	旱地	裸地	水域
氮 N	0.004180	0.013294	0.013289	0.013288	0.013203	0.013273	0.004204

磷 P	0.000890	0.000092	0.000093	0.000090	0.000087	0.000091	0.000091
钾 K	0.001810	0.008904	0.008908	0.008915	0.008874	0.008909	0.001802

(4) 涵养水源的价值

涵养水源功能主要是指森林对降雨的拦截、吸收作用，通过拦截和吸收作用将地表水转化为地下水，从而对河流的径流进行调节作用^[21]。涵养水源价值的计算方法主要有截留计算法、径流计算方法、蒸腾率计算法、水量平衡法、土壤蓄水计算法和河川径流量法等，这些方法均是先计算出涵养水源量，再用影子工程价格来代替水的价格，目前主要是用单位库容造价来代替水价，再用涵养水源量乘以水价。

计算公式如下：

$$Vw(x) = Q(x) \times p \times S_p \quad (11)$$

$$Vw = \sum Vw(x) \quad (12)$$

$$Q(x) = J(x) \times R(x) \quad (13)$$

其中， $Vw(x)$ 是每年像元在 X 处的涵养水源的价值， $Q(x)$ 是每年像元 x 处单位面积的降雨蓄水量 (m^2/m^3)， P 是每建 $1m^3$ 库容的成本花费，这里通过对福建省 2005 年水库成本建设计算得出福建省每建 $1m^3$ 库容成本为 2.5 元， S_p 是像元的面积 (m^2)， Vw 是研究区涵养水源的价值， $J(x)$ 是像元 x 处的年降雨量 (mm)， $R(x)$ 是像元 x 处的降雨贮蓄量占总降水量的百分比。

(5) 水土保持价值。

植被具有水土保持作用，一般主要是指植物根系对水土的保持和枯枝落叶层对水土的保持作用。植被根系对土壤水分的渗透率有较大的影响。植物的根系在生长过程中将会在土壤中挤出通道，使地表水有可能顺着根与周围的土壤之间的接触面渗入土壤。当根衰老或死亡后，它们会收缩，留出一些空隙，水也可以通过这些空隙渗入土壤。其次，因为树干、树枝和枯枝落叶增加了地表粗糙度，从而对水流产生了阻碍作用，减小地表径流的速度，延缓径流的出现和汇集。

水土保持的价值一般是从保护土壤肥力、减少土地废弃和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价，在这里主要采用市场价值法、机会成本法和影子工程法，计算公式如下：

$$V(x) = V_1(x) + V_2(x) + V_3(x) \quad (14)$$

$V(x)$ 为在像元 x 处每年的水土保持价值(元)； $V_1(x)$ 为在像元 x 处每年保护土壤肥力的价值(元)； $V_2(x)$ 为在像元 x 处每年减少土地废弃损失的价值(元)； $V_3(x)$ 为在

像元 x 处每年减轻泥沙淤积损失的价值(元)。

1.4 基于遥感的生态资产评估方法优势

随着地球空间信息技术和遥感对地观测的发展，人们在获取对地观测数据的技术和方法上以及从遥感信息中提取所需要的地表信息的理论和应用都已积累了相当丰富的研究成果。随着一系列的大型遥感计划的实施，多时间分辨率、多空间分辨率和多光谱分辨率的综合对地观测体系已经基本形成。同时，图像处理技术、模式识别技术、综合分类技术与信息提取等技术的发展大大改善了人们对海量数据的处理和信息挖掘。遥感技术的发展使得人们把传统的“点”测量方法获取有限代表性的信息扩展为更加符合客观世界的“面”信息，为多尺度的生态环境监测研究提供了理论基础和技术支持，极大地促进了生态环境的定量研究^[10]。

总结以上可知基于遥感的生态资产评估与传统的生态资产评估有以下几点优势：^[19, 33, 34]

首先，基于遥感的模型用于生态资产评估可以克服传统方法“以点代面”的缺点，减少了统计模型用地面观测值插值所引起的误差，提高了评估精度。

其次，因为遥感数据可以具有不同的波谱、不同的时空分辨率，通过多源数据的融合处理，可以较精确的进行各种生态系统类型的划分，并可以反演出一些生态与非生态的模型参数（如生物量模型、NPP 模型，蒸散量模型等）。

第三，相对传统的数据采集途径来说，遥感数据具有成本低，获取容易，速度快等特点。

第四，基于遥感方法的生态资产评估模型，可以较容易的搭建在 GIS 平台上，通过和地面统计数据的链接，利用计算机技术可实现区域生态资产自动化评估。

第五，受数据特点和自动化要求的限制，所选择的方法与模型会使一部分生态服务被忽略，但从工程性的角度来看，这样可以提高系统的可行性。对于被忽略的生态服务，如果通过调查发现这部分价值不应该完全被忽略，则可以通过其它的途径进行计算，例如将某种被忽略的生态价值纳入到其它价值中进行计算，或者根据经验判断这部分价值在总价值中所占比重，这样可以通过计算其它价值来进行估算。

第2章 研究区数据预处理与研究方案

2.1 研究区概况

(1) 福建省地理位置

福建省处于祖国的东南部，属于我国的华东地区，东有台湾海峡，并与台湾隔海相望，东北与浙江省毗邻，西北与江西省交界，西南与广东省相连。福建是中国著名的侨乡，旅居世界各地的闽籍华人华侨大约有 1088 万人。此外，福建与台湾渊源流长，关系最为密切，台湾同胞中有 80% 的人祖籍为福建。福建居于中国东海与南海的交通要冲，是中国距东南亚、西亚、东非和大洋洲最近的省份之一。

福建省南北跨度介于北纬 23 度 30 分至 28 度 22 分之间，东西跨度介于东经 115 度 50 分至 120 度 40 分之间。福建省陆地面积约为 12.14 万平方公里，其中，山地、丘陵占陆域的 80%，分别为 9.1 万 km^2 ，1.82 万 km^2 ，海域面积 13.63 万平方公里。全省海岸线总长 6128 公里，其中大陆线 3324 公里，居全国第二位。大小岛屿 1546 个，占全国的 1/6，并且拥有福州湾、厦门湾、兴化湾、沙埕港、湄州湾、三都澳等众多天然港湾。

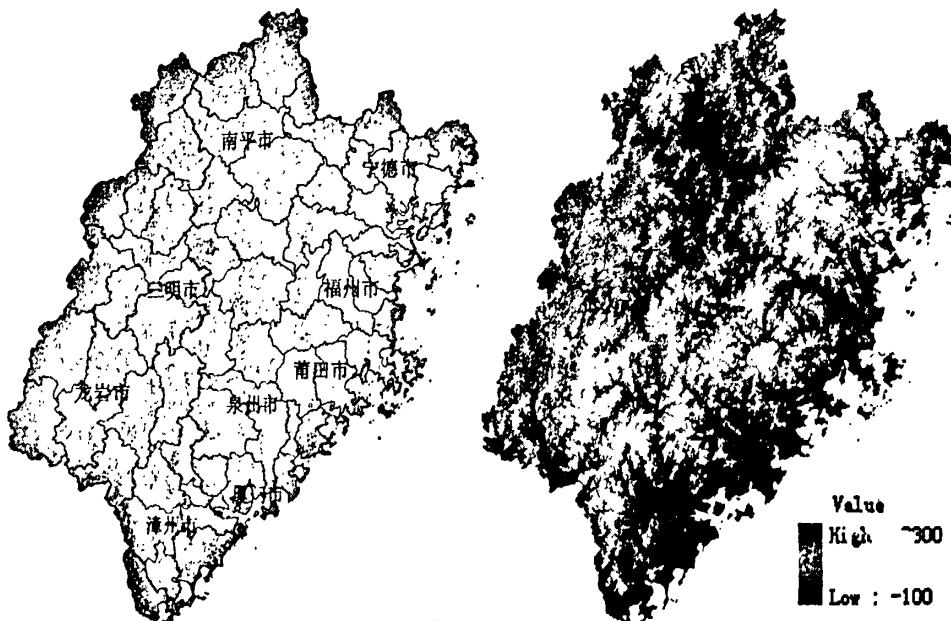


图 2 福建省行政图

Fig 2 Fujian Administrative maps

图 3 福建省地形图

Fig 3 Fujian topographic map

（2）福建地形

多山是福建省的主要地形地貌特征，而这一地形的形成是地球内外力相互作用的结果，主要归功于燕山时期的新华夏系巨型构造，燕山运动造就了福建省自西向东两高两低的马鞍状基本轮廓^[39]。福建有两列山脉，分别为武夷山脉和鹫峰山-戴云山-博平岭山脉，在两列山脉之间，丘陵连绵，河谷、盆地纵横交错穿插其间；福建省平均海拔较高，高差较大，地势总体上是从西北向东南下降，东南部沿海地区地势最低，海岸线曲折，岛屿星罗棋布，港湾众多。

（3）福建气候

福建省地处亚热带气候带，主要包括中亚热带季风气候和南亚热带季风气候两种，全年气候温暖，雨量充沛，日照百分率较低，水热充足。福建省全年日照百分率仅为40%-50%之间，处于全国日照较弱地区，但由于福建省地理位置靠近北回归线，所以其辐射量中等；由于受地形的影响，福建省温度跨度较大，表现为西北山区温度低，东南沿海温度高，全年平均气温跨度为15°C-22°C；福建省年平均降水量在1000-2200mm之间，其分布特点与温度分布规律相反，具体表现为降雨从西北向东南递减，东南沿海地区是本省雨量最少的地方，西北内陆是福建省降雨最多的地方，和温度分布规律一样雨量分布的多少受地形、地势的影响显著。

（4）福建植被

福建省植被种类丰富繁多，种群复杂，群落错综分布，以亚热带植被为主，主要的原生植被类型有中亚常绿阔叶林、混交林、竹林、亚热带灌丛、自然草地、红树林等；而福建省原生植物群落大多数已遭破坏，现在主要是以次生植被、人工植被为主，具体为马尾松、果园、茶园、杉木林、人工草地等类型，具体见福建省植被覆盖图^[34]。

福建省植被分布由于纬度和海拔高度的差异，其分布和类型组成也不尽相同，由福建省植被覆盖类型图可以看出农用地在东部沿海地区分布集中，沿海岸带呈带状分布，内陆地区农用地分布较为零散；竹林主要分布在西部内陆山区，主要集中在龙岩、三明、和南平地区，而东部沿海地区则分布较少，只有小面积零散分布；自然生草地数量较少，分布区域小，主要集中在龙岩市的长汀县、上杭县、连城县、永定县以及龙岩市行政区边界的武平县有着小面积自然草地，漳州市的和平县、云霄县、漳浦县、东山县和华安县，泉州地区的南安市、安溪县，三明地区的大同县，南平地区的光泽县和武夷山市，以及宁德地区和福州地区的沿海地段有着少量的自

然草地分布；灌丛几乎遍布福建全省，但面积较小，经济发达的沿海地段分布较少；混交林分布数量不多且较为零散，在全省均有零星分布；阔叶林和灌丛几乎分布全省，数量较多，相对于龙岩、三明和南平内陆地区，宁德、福州、莆田、泉州、厦门以及漳州等沿海地区阔叶林分布更为密集；和阔叶林相反，针叶林在沿海地区分布较少，尤其是福州、莆田、泉州、厦门和漳州地区的邻近海边地段针叶林分布较少，总体来说针叶林在福建省分布最多且最为密集。

福建省总面积约为 121501 平方千米，其中有林地面积为 90807 平方千米，非林地面积为 30694 平方千米。针叶林几乎占福建省总面积的一半，所占比例为 46.07%；其次为农用地和阔叶林，分别占总面积的 19.81% 和 17.87%；接下来为灌丛和竹林，分别占 9.77% 和 4.29%；混交林占 1.09%，其他非林地占总面积的 0.72%；占有比例最小的为草地，为 0.36%，具体见图 5。

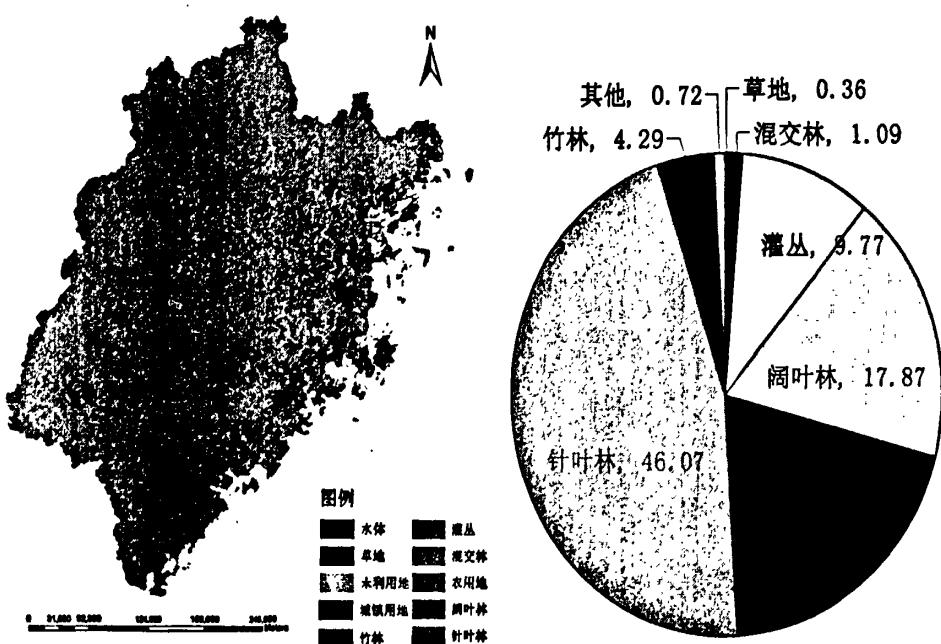


图 4 福建省植被覆盖图

Fig 4 Fujian Vegetation map

图 5 不同生态系统类型面积百分比

Fig 5 Area percentage of different ecosystem types

(5) 福建土壤

土壤的形成主要取决于地貌、母岩、气候等因素。福建省地处中亚和南亚的湿润地带，风化和流水侵蚀比较强烈，这些造就了福建省土壤类型多样。据统计福建省土壤有 5 个土纲和 7 个亚纲，其中主要是以红壤和黄壤为代表的铁铝土为主；福建土壤分布呈现水平地带性分布和垂直地带性分布相互交错的态势，主要表现为南亚热带以赤红壤为基带的土壤地带和中亚热带以红壤为基带的红壤地带。

福建省有 12 种土类，其中主要为红壤，占总土地面积的 63.3% 左右，其次为水稻土占 8.8% 左右，黄壤面积占土地总面积的 7.2%，剩下的 20.7% 土类为石灰土、风沙土、潮土、紫色土、山地草甸土等。

表 7 福建省土壤分类和厚度表

Table 7 Fujian Soil Classification and thickness table

土壤类型	分类	土壤厚度 (m)	土壤类型	分类	土壤厚度 (m)
赤红壤类	硅铝质赤红壤	1.1	红壤类	硅铝质红壤	0.96
	铝硅质赤红壤			铝硅质红壤	
	铁质赤红壤			铁质红壤	
	硅质赤红壤			硅质红壤	
	侵蚀赤红壤			侵蚀红壤	
	耕作赤红壤			耕作红壤	
	赤红壤性土			红壤性土	
石灰土	石质土	0.76	风沙土	黄红壤	
	粗骨土			风沙土	0.99
	石灰土			滨海盐土	
	新积土			酸性硫酸盐土	
黄壤类	黄壤	0.81	水稻土类	淹育水稻土	1
	耕作黄壤			渗育水稻土	
	黄壤性土			潴育水稻土	
潮土		0.69	紫色土	潜育水稻土	
	山地草甸土	0.8			0.97

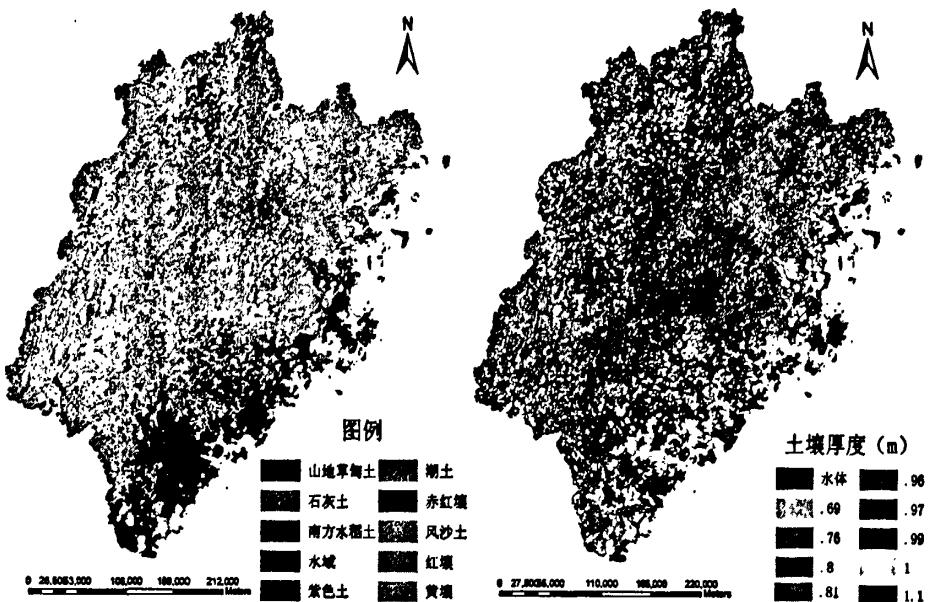


图 6 福建省土壤类型分布图

Fig 6 Fujian Soil type distribution

图 7 福建省土壤厚度图

Fig 7 Fujian soil thickness map

2.2 数据预处理

2.2.1 遥感数据与处理

MODIS 即中分辨率成像光谱仪 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 是美国宇航局研制的大型空间遥感仪器, 它是 Terra 卫星上载的 5 个对地观测传感器之一。MODIS 数据主要有三个特点:

第一, MODIS 数据实行全球免费接收政策, Terra 卫星除了 MODIS 外的其他传感器获取的数据均采取公开有偿接收和有偿使用的政策, 这样的数据接收和使用政策对于目前大多数科学家来说是一个很好的数据资源;

第二, MODIS 数据共有 36 个波段, 波段范围广、空间分辨率比 NOAA/AVHRR 有了很大的提高, 空间分辨率主要有 250m、500m 和 1000m, 数据量化精度高, 为 12bit 而 NOAA/AVHRR 仅为 10bit;

第三, Terra 卫星是太阳同步极轨卫星, 每天至少可以得到至少 1 次白天和 1 次黑夜更新数据, 如果结合 AQUA 卫星, 可获得一天 4 次的数据, 这样的数据更新频率, 对实时地球观测和应急处理有极大的实用价值。

MODIS 测量的基本目标如下：1) 用于监测陆地和海洋表面的温度和地面火情。2) 用于识别海洋彩色，水中沉积物和叶绿素。3) 全球植被测绘和变化探测。4) 云层表征。5) 汽溶胶的浓度和特性。6) 用于大气温度和湿度的探测，雪的覆盖和表征。7) 海洋流监测。有关 Modis 的波段特征及用途详见表 8：

表 8 Modis 波段特征及主要用途

Table 8 Modis Spectral Band properties and its application

波段	波谱范围(nm)	信噪比	主要用途	分辨率(m)
1	620-670	128		250
2	841-876	201	陆地/云边界	
3	459-479	243		500
4	545-565	228		
5	1230-1250	74	陆地/云特性	
6	1628-1652	275		
7	2105-2155	110		
8	405-420	880	海洋颜色/浮游	1000
9	438-48	838	植物/生物化学	
10	483-493	802		
11	526-536	754		
12	546-556	750		
13	662-672	910		
14	673-683	1087		
15	743-753	586		
16	862-877	516		
17	890-920	167		
18	931-941	57	大气水蒸气	
19	915-965	250		
20	3.660-3.840	0.05		
21	3.929-3.989	2		
22	3.929-3.989	0.07	地表/云温度	
23	4.020-4.080	0.07		
24	4.433-4.498	0.25		
25	4.482-549	0.25	大气温度	
26	1360-1390	150	卷云	
27	6.535-6.895	0.25		
28	7.175-7.475	0.25	水蒸气	
29	8.400-8.700	0.25		
30	9.580-9.880	0.25	臭氧	
31	10.780-11.280	0.05	地表/云温度	

32	11.770-12.270	0.05	云顶高度
33	13.185-13.485	0.25	
34	13.485-13.785	0.25	
35	13.785-14.085	0.25	
36	14.085-14.385	0.35	

本文的 MODIS 数据均来自 https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/ 网站的免费数据，本文所采用 MODIS 数据为 2005 年 terra 传感器的月合成 NDVI 数据，空间分辨率为 1km，每月一期，共 12 期。

MODIS-NDVI 数据为三级数据产品，它是以统一的时间-空间栅格表达的变量，通常具有一定的完整性和一致性。在 3 级水平上可以集中进行科学的研究，如：定点时间序列，来自单一技术的观测方程和通用模型等。三级数据产品属于成品数据，已经经过辐射定标，几何校正等预处理，所以在这里我们只对 MODIS-NDVI 进行投影转换和裁剪。所用软件为 ENVI4.7 软件，本文所采用投影信息为：

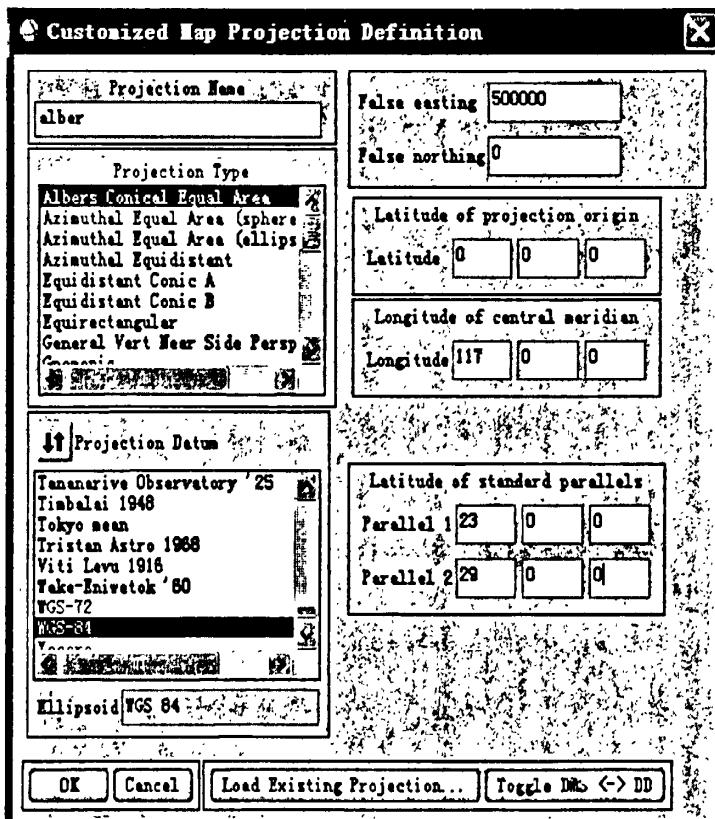


图 8 数据投影信息

Fig 8 Data Projector Information

2.2.2 气象数据与处理

文章所用气象数据均来源于福建省气象局,福建省共有71个气象监测站点,本文共收集了05年的降雨、温度、蒸发、日照百分率、太阳辐射数据等气象数据以及各站点的经纬度,海拔高度等基础信息。对气象数据先用EXCEL进行数据处理,计算出福建省的各个站点的月降雨,月气温等指数,再利用各站点的纬度、经度和海拔高度与各要素在ARCGIS9.3中用Kringing插值进行拟合来获取福建省的年平均气温,年降雨量等专题图,并使其投影和分辨率与MODIS-NDVI数据一致。

表9 福建省气象站点信息

Table 9 Meteorological stations Information in Fujian Province

站点	经度	纬度	高程(米)	站点	经度	纬度	高程(米)
福州市	119.28	26.08	84.00	漳州市	117.65	24.50	30.00
福清市	119.38	25.72	13.00	漳浦县	117.60	24.13	53.00
长乐市	119.57	25.93	6.20	诏安县	117.13	23.77	18.10
连江县	119.53	26.20	5.00	长泰县	117.75	24.62	43.20
罗源县	119.55	26.53	31.50	东山县	117.50	23.78	56.20
闽清县	118.85	26.23	41.10	平和县	117.32	24.37	36.00
永泰县	118.93	25.87	88.40	华安县	117.52	25.00	114.30
平潭县	119.78	25.52	25.20	南平市	118.17	26.65	127.20
北茭	119.95	26.37	72.20	邵武市	117.47	27.33	191.50
厦门市	118.07	24.45	63.20	崇安	118.03	27.77	223.30
同安县	118.13	24.72	15.10	建瓯市	118.32	27.05	154.30
莆田市	119.00	25.43	10.20	建阳市	118.12	27.33	181.10
仙游县	118.70	25.37	74.20	顺昌县	117.80	26.80	176.00
三明市	117.62	26.27	167.30	浦城县	118.53	27.92	283.30
明溪县	117.15	26.40	341.60	光泽县	117.30	27.52	265.40
永安市	117.35	25.97	208.30	松溪县	118.78	27.55	198.10
清流县	116.85	26.20	310.60	七仙山	117.83	27.95	1414.00
宁化县	116.63	26.23	358.90	龙岩市	117.02	25.10	341.90
大田县	117.83	25.70	399.60	长汀县	116.37	25.85	317.50
尤溪县	118.15	26.17	125.70	永定县	116.72	24.72	184.40
将乐县	117.47	26.73	154.70	上杭县	116.42	25.05	205.40
泰宁县	117.17	26.90	340.90	武平县	116.07	25.15	265.00
建宁县	116.85	26.83	345.20	漳平县	117.40	25.30	207.10
泉州市	118.58	24.90	6.30	连城县	116.75	25.68	364.70
南安市	118.37	24.97	44.90	宁德市	119.53	26.68	31.20
安溪县	118.15	25.07	92.20	福安市	119.63	27.15	46.90

永春县	118.27	25.33	169.80	福鼎市	120.20	27.33	36.20
崇武	118.92	24.90	21.70	霞浦县	120.00	26.88	12.20
九仙山	118.10	25.72	1650.00	古田县	118.73	26.58	361.50
周宁县	119.35	27.15	900.00	寿宁县	119.42	27.53	829.40
柘荣县	119.90	27.25	670.40	台山	120.70	27.00	106.60

2.2.3 其他辅助数据处理

DEM (数字高程模型)，等高距为 30m，经过几何校正，配准，投影变化等处理，使其投影方式与 NDVI 值相同。

社会经济数据主要包括福建省各地区国民生产总值和人均 GDP，这些数据直接来自福建省统计局。

2.3 主要研究内容与技术路线

生态资产是社会经济可持续发展的源泉和重要保障，是提升国家竞争力的重要组成部分。随着生态环境效应的日益明显，人们对生态、环境、资源等问题越来越关注。生态资产评估已成为近年来国内外生态学家、经济学以及政府部门研究的热点领域，已成为绿色 GDP 核算与生态安全评价的基础。所以说能够明确国家生态资产状况，对于我国国民经济发展，生态环境保护和建设都具有重要的现实意义。

本文选择海峡西岸建设的中心地带福建省作为研究区域，除此之外福建省还具有森林覆盖率高，自然资源丰富等特点。本文用基于遥感的生态资产模型进行生态资产估算，主要从有机物质，气候调节，营养物质循环，涵养水源和水土保持五个方面进行福建省 2005 年的生态资产价值估算。全文所用的数据主要有，影像数据 (MODIS—NDVI 月数据)、气象数据 (气压数据、辐射数据、日照百分率数据、降雨，温度)、植被数据、土壤数据、地形数据等。

对于生态资产可由多种评估方法进行估算，但现阶段生态资产估算方法中比较成熟的方法主要有以下几种：条件价值法、影子工程法、直接市场法、旅游成本法等。随着遥感技术的发展，利用遥感进行生态资产估算变成一种趋势，本文就是在前人的研究基础上利用改进的遥感参数模型进行生态资产遥感估算，并对计算结果给与合理的解释。

本文的技术路线是由遥感数据、气象数据等先计算出福建省 NPP，再以 NPP 为基础计算出有机物价值、气候调节价值和营养物质循环价值；除此之外由气象数据、植被数据等计算出涵养水源价值和水土保持价值，最后对有机物价值、气候调节价值、营养物质循环价值、涵养水源价值和水土保持价值进行综合计算得出福建省生态资产总价值。具体技术路线如下：

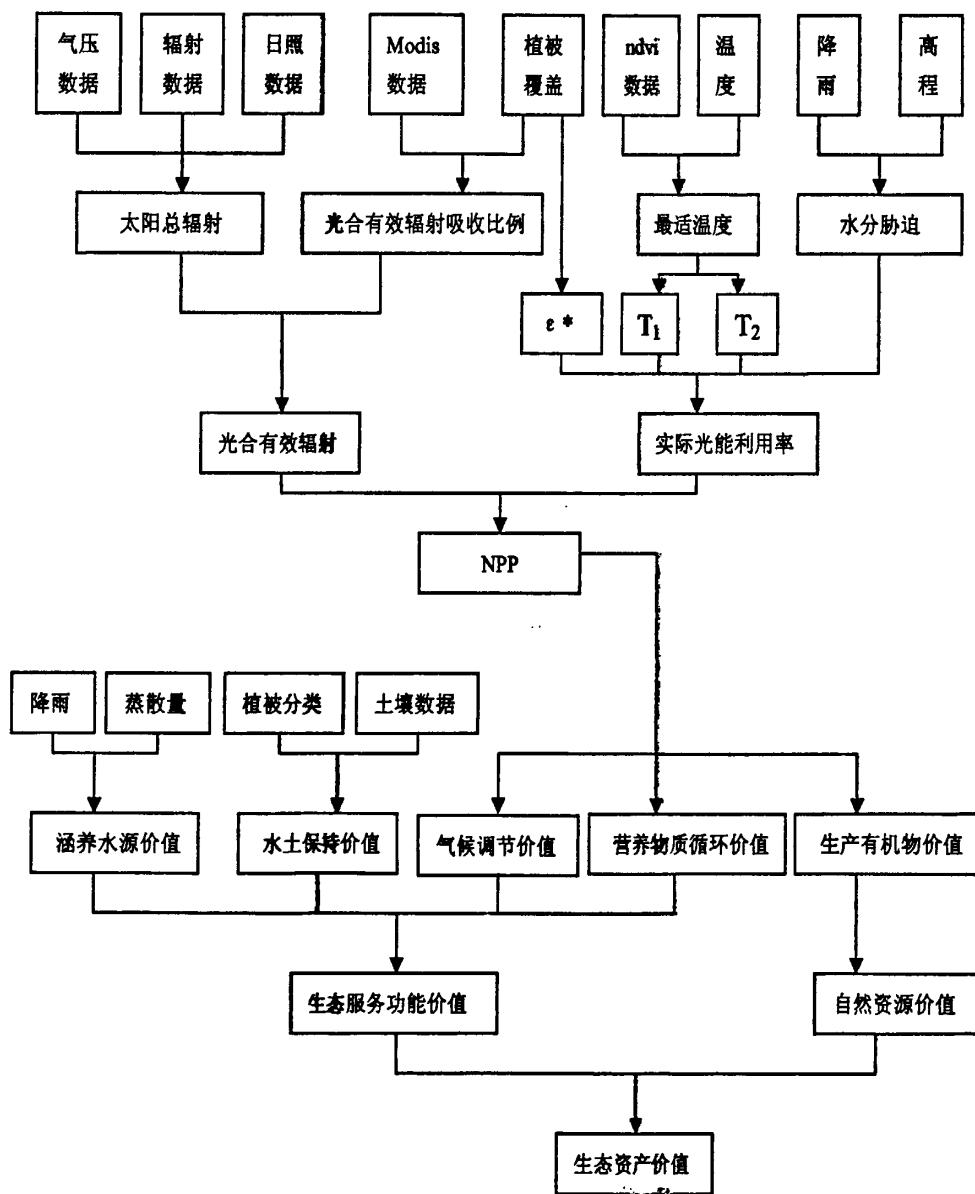


图 9 技术路线图
Fig 9 Technical route map

第3章 福建省生态资产评估

3.1 研究区生态系统类型划分

3.1.1 生态系统分类

福建省生态系统复杂多样，根据福建省植被类型图（1: 10 万）和本文研究的生态资产的目的和意义，把福建省生态系统分为 10 大类，分别为阔叶林生态系统、针叶林生态系统、竹林生态系统、混交林生态系统、灌丛生态系统、草地生态系统、农田生态系统、城镇生态系统、水域生态生态系统和未利用地生态系统。具体分类见下表：

表 10 福建省生态系统分类

Table 10 Ecosystem classification in Fujian Province

生态 系统	植被类型	生态 系统	植被类型
阔 叶 林	红栲、厚壳桂林、栲树、鹅掌柴	竹	绿竹林群落
	米槠林群落	竹	毛竹林群落
	苦槠、青冈栎林群落	林	其它竹林群落
	李、柰林群落		茶林群落
	荔枝林群落		倒卵叶青冈、映山红矮林群落
	龙眼林群落		江南山柳、小叶黄杨、茶条果矮曲林群落
	芦柑、桔、橙林群落	灌 丛	苦竹灌草丛群落
	木榄、秋茄、桐花树群落	灌 丛	桃金娘、黄瑞木、小叶赤楠、五节芒、芒萁
	木麻黄林群落		野古草、芒、龙须草群落
	枇杷林群落		映山红、乌饭、芒、芒萁群落
	其它果林群落		狗牙草、海边月见草群落
	其它经济林群落		米草群落
	其它中亚热带常绿阔叶林群落		人工草本植物群落
	秋茄、白骨壤群落	草	沼原草、芒、野古草、箱根草青茅群落
	甜槠、黄杞、栲树、红栲群落		粮食作物群落
农 用 地	甜槠、栲树、闽粤栲、红勾栲林群落		蔬菜群落
	甜槠、木荷、多脉青冈群落	农	其它作物群落
	乌饭、櫟木、白栎、芒群落	用	经济作物群落
	次生相思树林群落	地	种类花卉群落
	香蕉群落		

黑松林群落;	马尾松、红栲、厚壳桂林、鹅掌柴混交林群
针 黄山松林群落;	马尾松、青冈栎、木荷、甜槠混交林群落
叶 杉木林群落.	交 黄山松、多脉青冈林群落;
林 马尾松、乌饭、继木、白栎、芒群落	林
	马尾松、五节芒、芒萁群落

福建省植被种类丰富繁多，种群复杂，群落错综分布，以亚热带植被为主，主要的原生植被类型有中亚常绿阔叶林、混交林、竹林、亚热带灌丛、自然草地、红树林等；而福建省原生植物群落大多数以遭破坏，现在主要是以次生植被、人工植被为主，具体为马尾松、果园、茶园、杉木林、人工草地等类型^[36]。

福建省植被分布由于纬度和海拔高度的差异，其分布和类型组成也不尽相同，由福建省植被覆盖类型图可以看出农用地在东部沿海地区分布集中，沿海岸带呈带状分布，内陆地区农用地分布较为零散；竹林主要分布在西部内陆山区，主要集中在龙岩、三明、和南平地区，而东部沿海地区则分布较少，只有小面积零散分布；自然生草地数量较少，分布区域小，主要集中在龙岩市的长汀县、上杭县、连城县、永定县以及龙岩市行政区边界的武平县有着小面积自然草地，漳州市的和平县、云霄县、漳浦县、东山县和华安县，泉州地区的南安市、安溪县，三明地区的大同县，南平地区的光泽县和武夷山市，最后实在宁德地区和福州地区的沿海地段有着少量的自然草地分布；灌丛分布福建全省，但面积较小，分布较少的地区是经济发达的沿海地段；混交林分布数量不多且较为零散，在全省均有零星分布；阔叶林和灌丛一样分布全省，数量较多，相对于龙岩、三明和南平内陆地区，宁德、福州、莆田、泉州、厦门以及漳州等沿海地区阔叶林分布更为密集；和阔叶林相反，针叶林在沿海地区分布较少，尤其是福州、莆田、泉州、厦门和漳州地区的邻近海边地段针叶林分布较少，总体来说针叶林在福建省分布最多且最为密集。

3.1.2 分类结果验证

根据分类结果统计可知福建省总面积约为 123001 平方千米，其中有林地面积为 90807 平方千米，非林地面积为 30694 平方千米。针叶林占福建省总面积的 46.07%；其次为农用地和阔叶林，分别占总面积的 19.81% 和 17.87%；接下来为灌丛和竹林，分别占 9.77% 和 4.29%；混交林占 1.09%，其他非林地占总面积的 0.72%；占有比例最小的为草地，为 0.36%。

由福建省林业厅和福建省国土资源厅统计年鉴可知，福建省全省辖区土地总面积 124015.66 平方千米，有林地面积为 83254.07 平方千米，非林地面积为 40761.59 平方千米，具体的面积对比如下：

表 11 分类面积与官方统计面积对比

Table 11 The comparison between category area and official statistics area

面积平方千米	官方统计数据	分类统计数据	差值
林地	83254.07	97298.17251	14044.1
草地	26.26	440.33	414.0656
农用地	24365.2	24372.42	7.21514
建设用地	5888.53	203.47	-5685.06
未利用地	10481.6	687.03	-9794.57
总面积	124015.66	123001.4132	-1014.25

对比分析可知，通过遥感图进行植被分类所得的面积与官方统计面积对比，差别较大，尤其是林地，建设用地和未利用地三种的差距最大，而农用地差值最小，分析其原因主要如下：首先，基于 TM 遥感影像解译下的植被生态系统分类，解译精度会受到限制，由于福建省植被类型复杂，杂草遍布重生，而福建省大面积的草地分布不多，大多数分布在林地之间，在进行分类时容易造成混淆，最后导致分类计算出来的草地面积大于实际的统计值；其次，福建省森林覆盖度高，生态环境良好，很多未利用地并不是寸草不生，很多未利用地上面覆盖杂草等植物，在进行遥感解译时往往会把这一部分判读为草地或林地，除此之外福建的城镇村庄地区多林木，很多村庄都是沿山脚而建，在进行遥感影像解译时会把建设用地归并到林地或其他用地里面，最后导致分类结果与统计数据的不一致。归结最终原因则是福建地区的山区众多，植被类型复杂多样，地形支离破碎，特殊的生态生境导致了遥感解译的不足。

3.2 植被净初级生产力 (NPP) 估算

3.2.1 NPP 模型构建

植被净第一性生产力 (Net Primary Productivity) 是指植物在单位时间单位面积上由光合作用产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分^[37]。现阶段对

NPP 的估算主要有三种：气候生产力模型、生理生态过程模型和遥感驱动力模型（光能利用率模型），这三种模型各有优缺点，气候生产力模型是以点带面的形式，误差较大；生理生态过程模型所需参数较多且难以获得，遥感驱动力模型是一种较新的估算方法，使用遥感驱动力模型可以实现区域实时动态监测。鉴于研究的目的和模型的适用性，本文选取了遥感驱动力模型（光能利用率模型）进行 NPP 计算。

基于光能利用率的 NPP 模型是由光合有效辐射 (APAR) 和实际光能利用率 (ε) 组成，其估算公式如下所示：

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (15)$$

公式中， $APAR(x, t)$ 为植被所吸收的光合有效辐射，单位为 $gC \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$ ， $\varepsilon(x, t)$ 表示实际光能利用率，单位为 $gC \cdot MJ^{-1}$

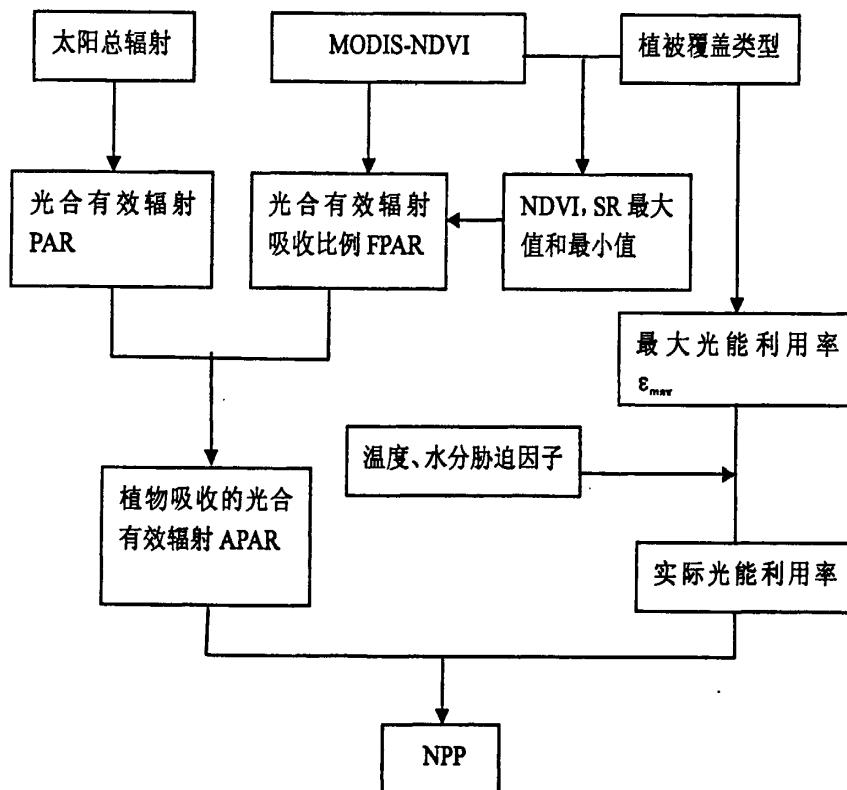


图 10 净初级生产力 (NPP) 估算模型总体框架

Fig 10 Frame of net productivity (NPP) Estimation

3.2.2 APAR 的估算

植被吸收的光合有效辐射大小除了取决于太阳总辐射外还取决于植物本身的特点，公式计算如下。

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5 \quad (16)$$

式中， $SOL(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月的太阳总辐射量，单位为 $MJ \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$ ， $FPAR(x, t)$ 为植被层对入射光合有效辐射的吸收比例，0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例系数为 0.5。

(1) FPAR 的估算

研究表明在一定范围内，光合有效辐射吸收比例 FPAR 与植被指数 NDVI 存在着线性关系^[30]，这种线性关系可以用植被指数的最大最小值和光合有效辐射吸收比例的最大最小值来表示，即：

$$FPAR(x, t) = \frac{(NDVI(x, t) - NDVI_{i, min})}{(NDVI_{i, max} - NDVI_{i, min})} \times (FPAR_{max} - FPAR_{min}) + FPAR_{min} \quad (17)$$

式子中， $NDVI_{i, max}$ ， $NDVI_{i, min}$ 分别对应第 i 中植被类型的 NDVI 最大值和最小值，具体见表。

表 12 NDV 最大与最小值取值

Table 12 the maximum and minimum values of NDVI

植被类型	NDVI _{max}	NDVI _{min}	植被类型	NDVI _{max}	NDVI _{min}
常绿针叶林	0.647	0.023	水域	0.634	0.023
常绿阔叶林	0.676	0.023	耕地	0.634	0.023
灌丛	0.636	0.023	荒漠	0.634	0.023
草地	0.634	0.023	城市	0.634	0.023

(2) FPAR、NDVI 最大值和最小值的确定

FPAR 最大最小值的取值与植被类型无关，最大值为植被全覆盖状态下的取值，最小值为裸地状态下，在这里分别取 0.95 和 0.001；同理 NDVI_{max} 是指植被刚好达到全覆盖状态下的 NDVI 值，并不是指某一植被类型 NDVI 实际能达到的最大值，最小值为无植被状态下的取值，本文 NDVI 最大值和最小值采用朱文泉等的研究成果^[30]，所确定的各植被类型的 NDVI 最大值与最小值如表 12 所示。

3.2.3 光能利用率的估算

光能利用率是指在一定时期内单位面积上生产出来的干物质中所包含的化学潜能与该时间段投射到该面积上的光合有效辐射之比。最大光能利用率可以通过调节对 NPP 有影响的环境因子和土壤水分因子来实现对 NPP 的调控。而现实条件中的最大光能利用率受到温度因子和水分因子的胁迫影响^[40]，具体计算公式如下所示

$$\varepsilon(x, t) = T_{el}(x, t) \times T_{e2}(x, t) \times W_e(x, t) \times \varepsilon_{max} \quad (21)$$

式中， $T_{el}(x, t)$ 和 $T_{e2}(x, t)$ 是温度（高温和低温）对光能利用率的胁迫作用； $W_e(x, t)$ 为水分对光能利用率的胁迫作用； ε_{max} 是理想条件下的最大光能利用率，单位为 $g \text{ C} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 。光能利用率的估算流程如图 11 所示。

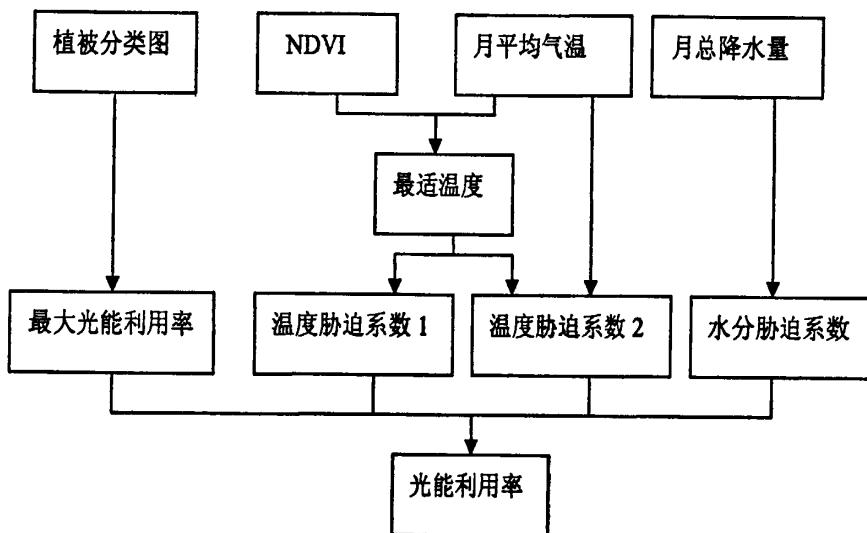


图 11 光能利用率估算流程图
Fig 11 Flow chart of light use efficiency

(1) 温度胁迫因子的估算

$T_{el}(x, t)$ 因子： $T_{el}(x, t)$ 反映了低温或高温植物内在的生化作用对光合的限制而降低净第一性生产力^[40, 41]。其计算公式为：-

$$T_{el}(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2 \quad (22)$$

式中， $T_{opt}(x)$ 为植物生长的最适温度，定义为某一区域一年内 NDVI 值达到最高时的当月平均气温(℃)；当某一月平均温度小于或等于 -10°C 时， $T_{el}(x, t)$ 取 0。

$T_{e2}(x, t)$ 因子: $T_{e2}(x, t)$ 表示温度从 $T_{opt}(x)$ 向高温或低温变化时植物光能利用率逐渐变小的趋势^[42, 46], 这是因为低温和高温将会导致高的呼吸消耗, 最终将会导致光能利用率的降低。公式计算如下:

$$T_{e2}(x, t) = \frac{1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt}(x) - 10 - T(x, t))]\}}{\times 1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{opt}(x) - 10 + T(x, t))]\}} \quad (23)$$

当某一月平均温度 $T(x, t)$ 比最适温度 $T_{opt}(x)$ 高 10℃ 或低 13℃ 时, 该月的 $T_{e2}(x, t)$ 值等于月平均温度 $T(x, t)$ 为最适温度 $T_{opt}(x)$ 时 $T_{e2}(x, t)$ 值的一半 (Poter et al., 1993; Field et al., 1995)。

(2) 水分胁迫因子的估算

当土壤水份含量超过某一阀值时植被的蒸发速度不再受土壤水份的影响; 当土壤含水量低于这个阀值时, 植被蒸发速度随土壤含水量的降低而降低, 所以说水份状况对植被的生长具有重要作用^[61], 因此, 周广胜和张新时用区域实际蒸散量与区域潜在蒸散量的比值来反映土壤份干湿程度^[62]。

水分胁迫因子 $W_e(x, t)$ 反映了植物所能利用的有效水份条件对光能利用率的影响, 研究表明, 水分胁迫因子会随环境中的有效水份的增加而增加, 一般情况下 W 的取值范围为 0.5-1, 在极端干旱条件下 W 取值为 0.5, 而在非常湿润条件下 W 取值为 1, 由公式(24)计算^[42]:

$$W_e(x, t) = 0.5 + 0.5 \times E(x, t) / E_p(x, t) \quad (24)$$

$E(x, t)$ 为区域实际蒸散量 (mm), 可根据周广胜和张新时^[43] (1995) 建立的区域实际蒸散模型求取:

$$E(x, t) = \frac{\{P(x, t) \times R_n(x, t) \times [(P(x, t))^2 + (R_n(x, t))^2 + P(x, t) \times R_n(x, t)]\}}{\{[P(x, t) + R_n(x, t)] \times [(P(x, t))^2 + (R_n(x, t))^2]\}} \quad (25)$$

其中, $P(x, t)$ 和 $R_n(x, t)$ 分别为像元 x 在 t 月的降雨量和太阳净辐射量。

$E_p(x, t)$ 为区域潜在蒸散量 (mm), 可根据 Boucher 提出的互补关系求取^[43, 44]。

$$E_p(x, t) = [E(x, t) + E_{po}(x, t)] \quad (26)$$

式中的 $E_{po}(x, t)$ (mm) 为局地潜在蒸散量, 可以由 Thornthwaitede 的植被-气候关系模型方法求算^[45]。

(3) 最大光能利用率的确定

最大光能利用率取值对 NPP 的计算结果影响很大, 不同的植被类型其最大光能利用率 ε_{max} 也有所不同, 所以说如何确定和选取最大光能利用率的大小对计算 NPP

显得尤为重要, Potter 等(1993)和 Field 等(1995, 1998)首先提出全球的最大光能利用率为 $0.389 \text{ g C} \cdot \text{MJ}^{-1}$, 而我国学者彭少麟(2000)研究表明 Potter 等提出最大光能利用率为广东省偏低; 随后 Ruimy & Saugier (1994), Paruelo et al. (1997)等学者又提出植被的最大光能利用率为 $0.09 \sim 2.16 \text{ g C} \cdot \text{MJ}^{-1}$ 之间; 这些取值随着研究的深入和应用逐渐发现了它的不合理性和不适用性, 把最大光能利用率为一个特定的值必定会对 NPP 的计算结果精度产生影响, 由于不同的植被所具有的最大光能利用率为不同, 所以探索不同植被类型的最大光能利用率为提高 NPP 计算精度的一个重要方向, 本文对不同植被月最大光能利用率为取值综合参考了朱文泉(2006 年)、Running 等的模拟结果, 模拟结果见下表

表 13 朱文泉最大光能利用率为取值^[39]

Table 13 Maximum values of solar energy utilization efficiency by zhu

wenquan

植被类型	最小值	最大值	模拟值
落叶针叶林	0.159	2.453	0.485
常绿针叶林	0.204	2.553	0.389
落叶阔叶林	0.256	2.521	0.692
常绿阔叶林	0.407	2.194	0.985
针阔混交林	0.242	0.74	0.475
常绿、落叶阔叶混交林	0.461	1.295	0.768
灌丛			0.429
草地			0.542
耕地			0.542
其它			0.542

表 14 Running 最大光能利用率为取值范围^[40]

Table 14 Maximum values of solar energy utilization efficiency by running

植被类型	$\epsilon_{\text{max}} (\text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1})$	植被类型	$\epsilon_{\text{max}} (\text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1})$
常绿针叶林	0.001008	落叶灌丛	0.000768
常绿阔叶林	0.001259	矮林灌丛	0.000888

落叶针叶林	0.001103	稀疏灌木	0.000774
落叶阔叶林	0.001044	草地	0.000604
混交林	0.001116	耕作植被	0.000604

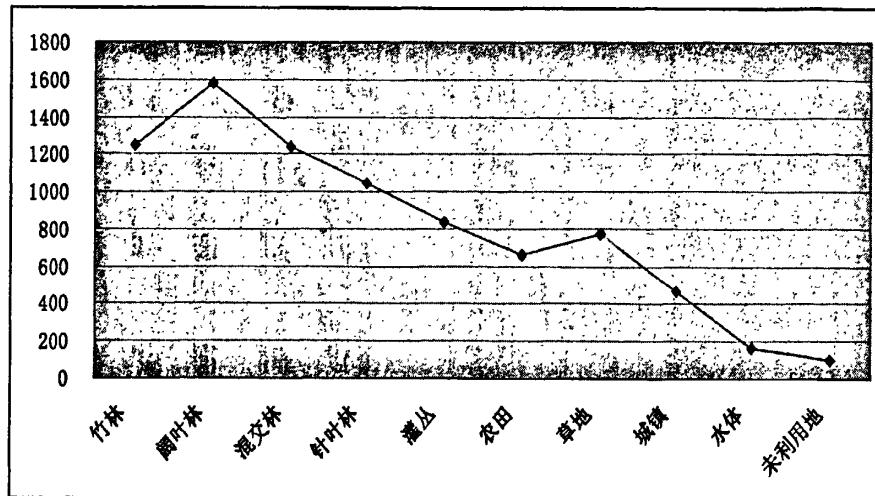
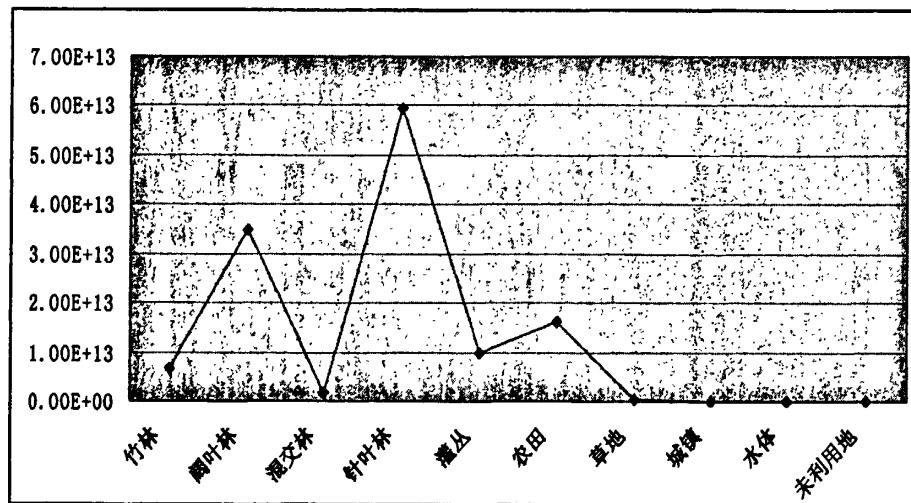
表 15 徐丹不同月份的最大光能利用率^[47]

Table 15 Maximum values of solar energy utilization efficiency

植被 类型	不同月份的光利用率 ϵ (gC·MJ ⁻¹)												均 值
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
常绿针叶林	0.42	0.40	0.49	0.62	0.77	0.81	0.77	0.70	0.77	0.67	0.57	0.41	0.62
常绿阔叶林	0.59	0.62	0.76	0.84	0.96	0.87	0.87	0.80	0.90	0.84	0.87	0.69	0.80
落叶针叶林	0.27	0.27	0.27	0.28	0.49	0.69	0.92	0.98	0.81	0.53	0.28	0.27	0.51
落叶阔叶林	0.26	0.26	0.28	0.42	0.49	0.69	0.89	0.92	0.79	0.48	0.35	0.26	0.51
混交林	0.58	0.54	0.62	0.71	0.86	0.86	0.84	0.80	0.89	0.81	0.78	0.59	0.74
密闭灌从	0.40	0.38	0.41	0.53	0.70	0.75	0.77	0.62	0.74	0.61	0.55	0.39	0.57
稀疏灌从	0.23	0.24	0.35	0.41	0.51	0.58	0.61	0.62	0.6	0.5	0.36	0.26	0.44
稀树	0.39	0.34	0.38	0.63	0.70	0.52	0.47	0.51	0.52	0.63	0.68	0.49	0.52
草原	0.15	0.15	0.19	0.25	0.33	0.42	0.49	0.48	0.44	0.32	0.19	0.15	0.29
耕地	0.23	0.22	0.23	0.31	0.39	0.46	0.50	0.41	0.47	0.35	0.31	0.22	0.34
裸地	0.10	0.11	0.15	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.15	0.13	0.14	0.11	0.14
水体	0.14	0.14	0.16	0.19	0.24	0.27	0.29	0.26	0.28	0.22	0.17	0.14	0.21

3.2.4 福建省 NPP 分布

根据最大光能利用率模型计算出福建省 2005 年 NPP 总量约为 $1.29 \times 10^{14} \text{ gCa}^{-1}$ ，NPP 平均值约为 $811.46 \text{ gCm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ，其中每类生态系统类型下的 NPP 平均值具体见下表

图 12 2005 年不同生态系统类型 NPP 平均值 ($gCm^{-2}a^{-1}$)Fig 12 2005, the average NPP of different ecosystem types ($gCm^{-2}a^{-1}$)图 13 2005 年福建省不同生态类型 NPP 总值 (gCa^{-1})Fig 13 2005, NPP value of different ecological types of Fujian (gCa^{-1})

由图可知, 单位面积 NPP 最大的为阔叶林, 其次为竹林、混交林和针叶林, 再次为灌丛、草地和农田, 单位面积最小的为城镇、水体和未利用地。而对于不同生态类型的年 NPP 针叶林最大, 阔叶林次之, 针叶林、草地、城镇、水体和未利用地的年 NPP 最小。

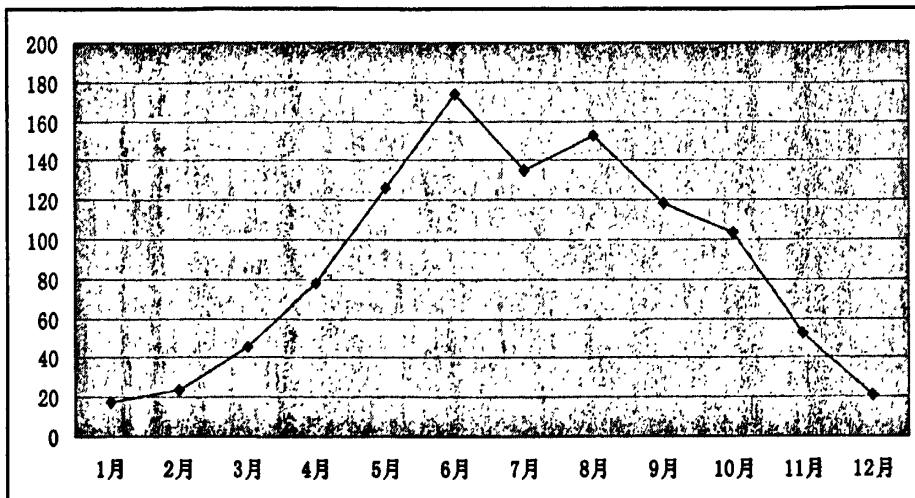
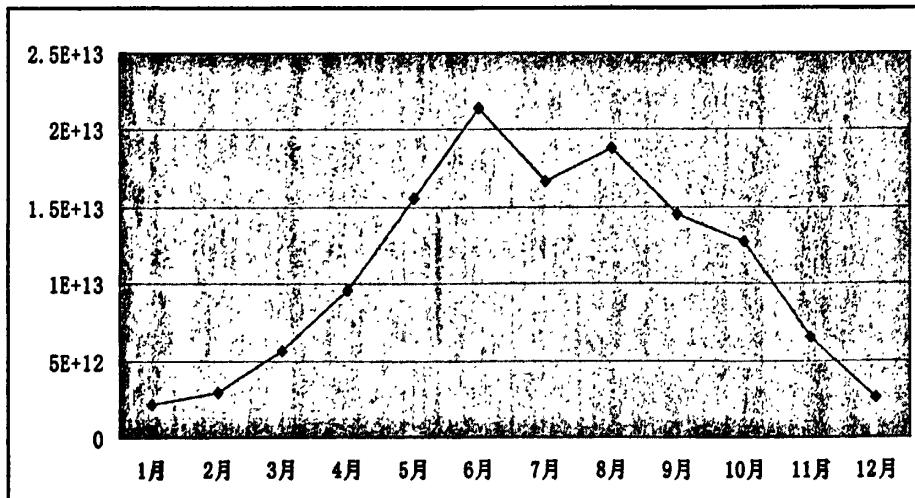
图 14 2005 年福建省不同月份下的 NPP 平均值 (gCm^{-2})Fig 14 the average NPP under the different months of fujian province (gCm^{-2})

图 15 2005 年福建省不同月份下的 NPP 总值 (gC)

Fig 15 the NPP value in different months of fujian province (gC)

由福建省月 NPP 图表可知, 福建省在 5 月-9 月期间 NPP 值较大, 这是因为在 6-9 月为夏季, 这时的太阳辐射较为强烈的季节, 水热条件较好, 又因为福建省地处亚热带地区, 9 月份太阳辐射依旧强烈, 所以九月份的 NPP 值仍然很大。福建省不同月份的 NPP 有 2 个高峰期, 分别为 6 月和 8 月, 这是因为在 6 月和 8 月分福建省的水热条件最好, 最有利于作物生长; 福建省 NPP 最低月份为 12 月以及 1-3 月,

其中1月份为福建省全年最低值；4-6月NPP呈上升趋势，并且上升幅度最大，6月份NPP总量达到全年最大值；从8月份开始福建省NPP又开始呈下降趋势。这一结论与李慧在其博士论文福建省森林生态系统NPP与NEP时空模拟研究中的研究结果一致^[36]，除此之外还与郭志华研究同处亚热带地区的广东省植被生产力时空变化结果相似^[48]。

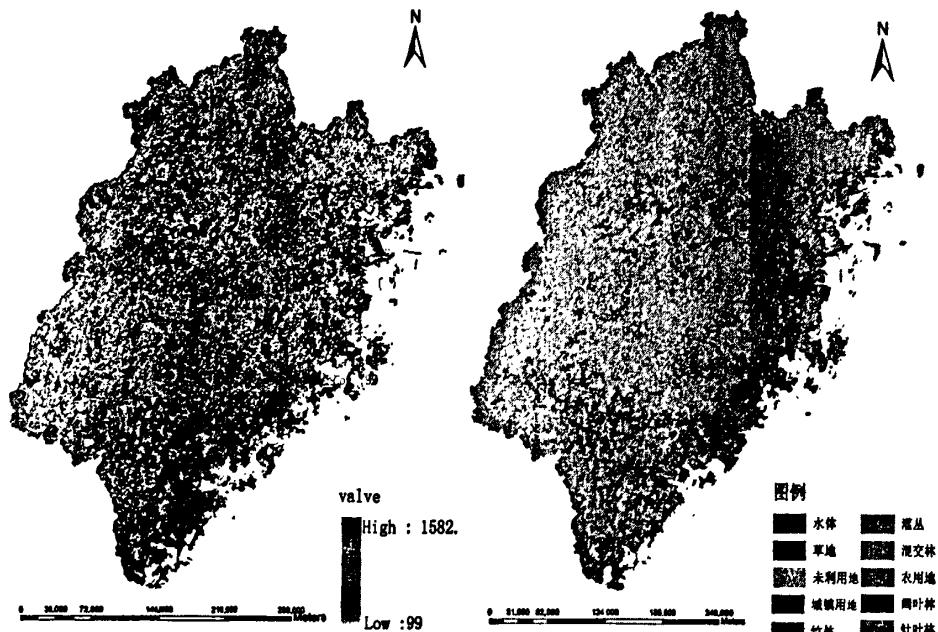


图16 福建省NPP分布图

Fig 16 NPP distribution in Fujian Province

图17 福建省植被覆盖图

Fig 17 Fujian vegetation cover map

由福建省NPP分布图可看出，福建省NPP低值区分布在福州、莆田、泉州和厦门等经济发达植被覆盖较低的沿海地带以及非沿海地区的各个城市周围区域，这里人为活动剧烈，生态破坏较为严重，植被大多为次生植被。高值区主要分布在武夷山脉以及内地山区，这里经济不发达，人口稀少，植被覆盖度高。福建省NPP总体分布和植被覆盖有着天然的联系，由上图可以看出，福建省NPP分布的最高值区域和植被覆盖图中的阔叶林分布一致，未利用地、城镇、水体密集区大多分布在沿海地带。

二、福建省NPP结果验证

由于NPP计算过程中涉及到众多模型和参数，而这些在计算过程中往往选取有差别，NPP不仅受植被生理特征的影响和环境因子的限制，还受人为、气候等其他因素的影响，在计算过程中由于数据、技术方法等的限制难免考虑不周，最后计算

出的 NPP 和实际的 NPP 存在一定的误差，所以有必要对计算结果进行验证和分析比较。

本文利用光能利用率模型计算的福建省 NPP 结果为 $1.29 \times 10^{14} \text{ gCa}^{-1}$ ，NPP 平均值约为 $811.46 \text{ gCm}^{-2}a^{-1}$ 。而李慧博士在其博士论文中用 Biome-BGC 计算的福建省森林系统的 NPP 值为 $2.08 \times 10^8 \text{ gCa}^{-1}$ ，本文中计算结果比李慧博士计算结果大，由于李慧博士仅考虑森林生态系统下的 NPP 估算，而本文是分不同生态系统进行全面考虑，在李慧博士论文中其 NPP 平均值 $788.34 \text{ gCm}^{-2}a^{-1}$ ，与本文研究结果接近。而刘世荣等在其研究结果中计算出南亚热带的 NPP 平均值在 $400-1300 \text{ gCm}^{-2}a^{-1}$ ，中亚热带的 NPP 平均值在 $400-950 \text{ gCm}^{-2}a^{-1}$ 。本文研究结果在其结果范围之内。

3.3 福建省单项生态资产价值估算

3.3.1 自然资源价值

(一) 有机物质价值

有机物质价值为每个像元的 NPP 乘以此像元处有机物质单位质量价值（此处取之为 $2.3718 \times 10^{-4} \text{ 元} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}$ ）的总和，经过计算得出福建省有机物质价值总值为 309.61 亿元，占福建省生态资产总价值的 15.57%。对于不同的生态类型针叶林的生态资产价值占有比重最大为 142.61 亿元，其次为阔叶林价值为 83.47 万元，而林地包括竹林、阔叶林、混交林、针叶林、灌丛的有机物资产价值为 269.87 万元，占福建省总有机物价值的 87.17%，所以说对于有机物价值，林地贡献率最大，其他剩余部分仅占 10% 左右，尤其是水体和未利用地，由于草地面积比较少，所以草地的有机物价值贡献率最小。

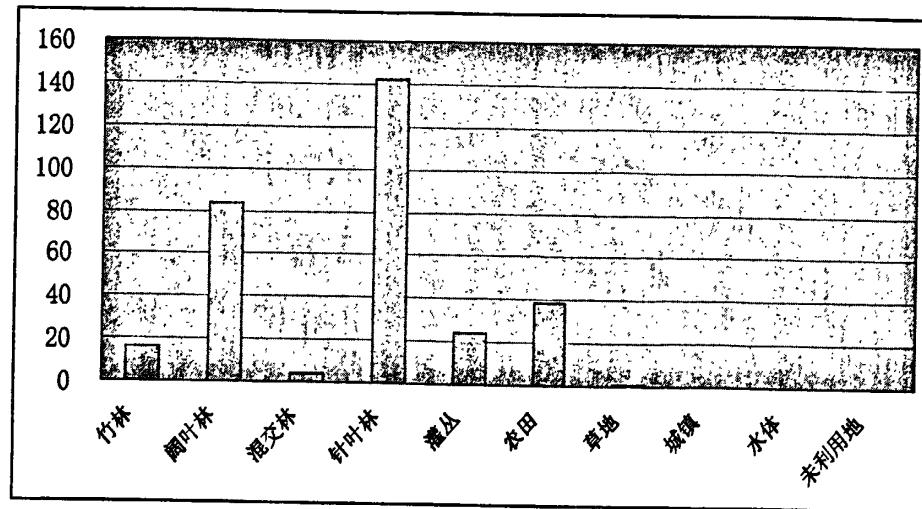
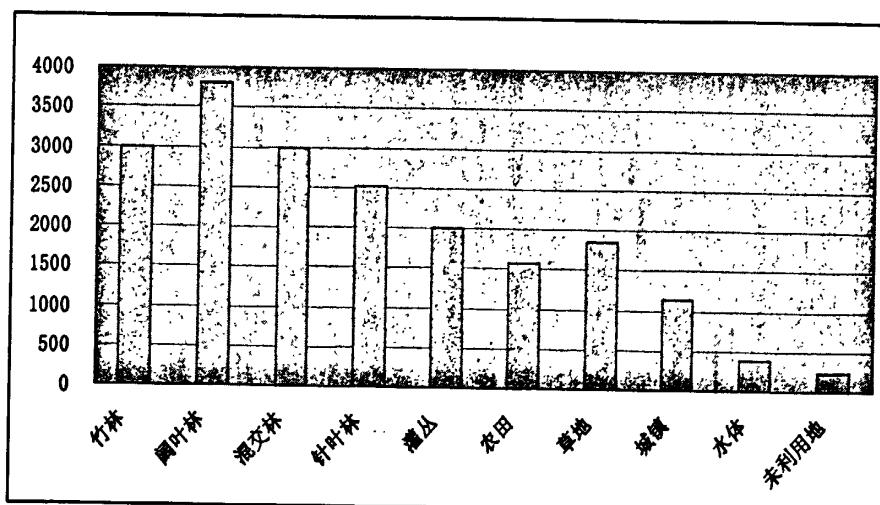


图 18 福建省不同生态系统的有机物价值 (亿元)

Fig 18 the organic matter value of different ecosystems in Fujian province (Billion)

单位面积的有机物价值的值域范围是 238.16-3797.03 元/ $h\text{m}^2$ ，和有机物总价值趋势一样，森林生态系统有机物价值的单价较大，其中单价最高的为针叶林，单价最低的为未利用地。由图 19 可以看出福建省不同生态系统的单价增降幅度缓和，从森林生态系统到未利用地生态系统其单价为缓和过度，而对于福建省不同生态系统的有机物总价值来说不同生态系统的有机物价值过度幅度较大，这里起主要原因是不同生态系统类型面积，不同生态系统类型面积变化幅度较大，并且面积变化趋势与有机物价值变化趋势一致，详见图 20。

图 19 福建省不同生态系统有机物单价 (元/ $h\text{m}^2$)Fig 19 the unit value of organic matter of different ecosystems in Fujian province (yuan/ $h\text{m}^2$)

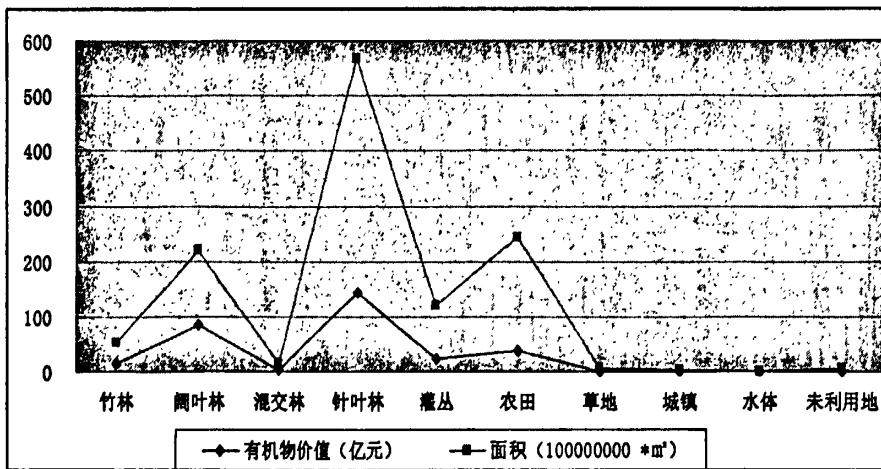


图 20 不同生态系统有机物价值变化与面积变化趋势对比

Fig 20 Organic matter value changes compared with the area changes trends of different ecosystems

3.3.2 生态服务功能价值

(一) 气候调节价值

气候调节主要包括吸收二氧化碳和释放氧气的价值，经过计算得出福建省吸收二氧化碳的价值约为 702.18 亿元，释放氧气的价值为 619.21 万元，总价值为 1321.39 亿元，占福建省生态资产总价值的 66.46%。

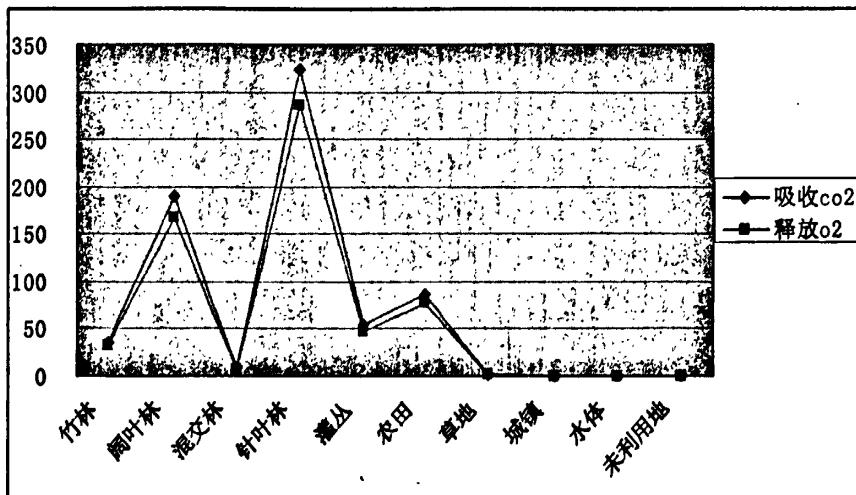


图 21 福建省不同生态系统气候调节价值 (亿元)

Fig 21 the climate regulation value of different ecosystems in Fujian Province (billion)

气候调节价值中吸收二氧化碳价值大于释放氧气的价值，但对于不同的生态系统它们的气候调节价值变化趋势一致，针叶林吸收二氧化碳价值最高，同样释放氧气的价值也最高，阔叶林次之。在林地范围中针叶林、阔叶林和竹林的气候调节价值都很高，而混交林的气候调节价值却很低，除了混交林面积较少以外这也体现出了混交林的气候调节价值低于其他林地的调节价值。城镇、水体和未利用地的气候调节能力最弱。

（二）营养物质循环价值

营养物质循环价值主要包括 N、P、K 的价值，经由计算福建省 2005 年营养物质循环总价值为 18.32 亿元，占生态资产总价值的 0.92%，占有比例很小。其中 N 的价值为 13.6 亿元，占营养物质循环总价值的 74.22%；P 的价值为 2.67 亿元，占总营养物质循环价值的 14.59%；K 的价值为 2.05 亿元，占总营养物质循环价值的 11.18%。分析可知，N 价值>P 价值>K 价值，其中 N 的价值占有比重最大，贡献率最大。

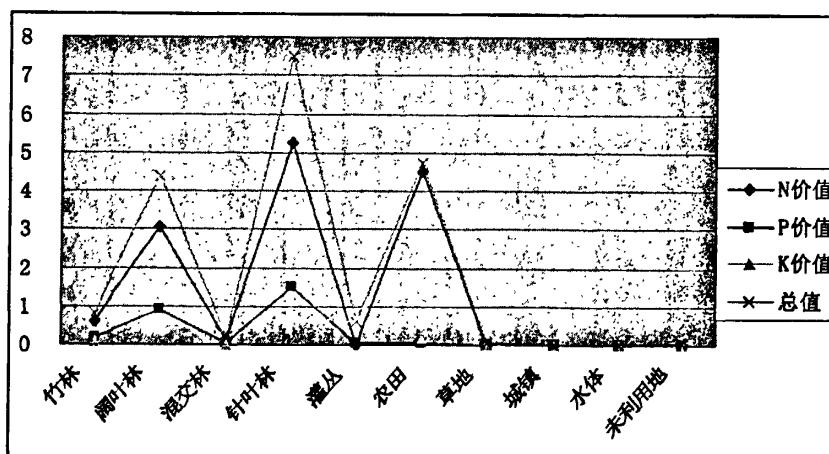


图 22 福建省不同生态资产营养物质循环价值 (亿元)

Fig 22 the nutrient recycling value of different ecological assets in Fujian Province
(billion)

由图表可知，营养物质循环价值中针叶林的值最高，其次为农田和阔叶林，营养物质循环价值最少的为草地、水体和未利用地，本文中没有对城镇进行营养物质循环价值估算，即城镇不具有营养物质循环价值。

对于不同生态系统的 N、P、K 价值变化趋势和总价值的变化趋势基本一致，都

具有三峰两谷，即针叶林、阔叶林和农田价值达到最高值，城镇，水体，未利用地的N、P、K价值最低。对于固定的生态类型，竹林、阔叶林、混交林和针叶林的价值均是N>P>K,而对于灌丛的价值是K>P>N，农田的价值为N>K>P。

（三）涵养水源价值

涵养水源价值主要为计算降雨蓄积量的价值，然后以蓄积量为基础进行计算，涵养水源价值计算公式如下^[60, 63]：

$$Vw(x) = Q(x) \times p \times Sp \quad (27)$$

$$Vw = \sum Vw(x) \quad (28)$$

$$Q(x) = J(x) \times R(x) \quad (29)$$

（1）福建省降雨蓄积量Q(x)

降雨蓄积量=（降雨量-蒸散量）/1000*单位像元面积，经由计算得出福建省降雨蓄积量分布图，在图上可以看出，福建省降雨蓄积量最大的地方为三明市，最差的为东部沿海地区，蓄积量分布呈西北向东南减小的趋势，地域性明显。

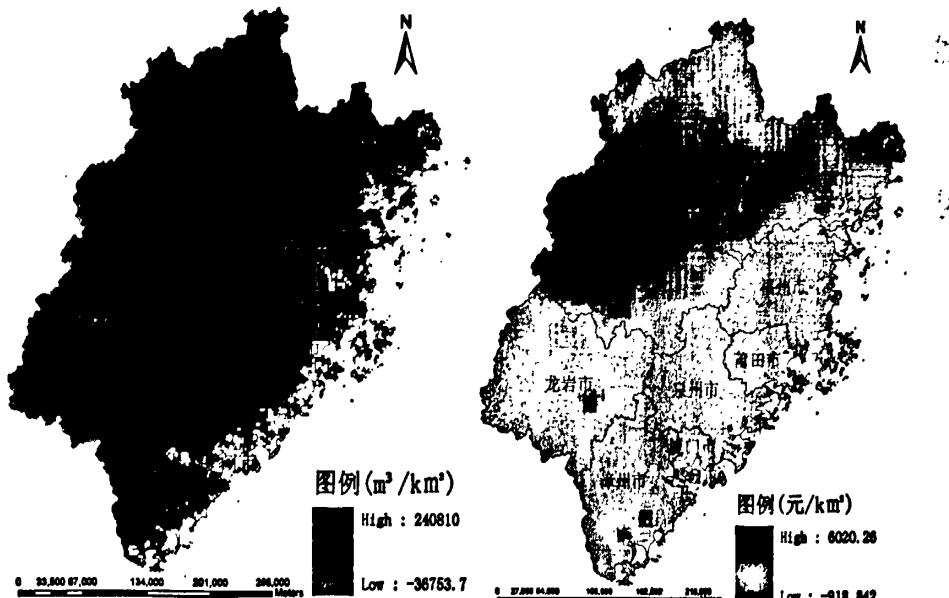


图 23 福建省降雨蓄积量

Fig 23 The amount of rainfall accumulation in Fujian Province

（2）福建省涵养水源价值

2005 年福建省涵养水源价值约为 153.67 亿元，对于不同的生态类型其涵养水源价值大小排序为：针叶林>农田>阔叶林>灌丛>竹林>混交林>草地，价值较低的为草

图 24 福建省涵养水源价值

Fig 24 Water conservation value of Fujian Province

地、城镇、水体和未利用地，具体数值见下表。

表 16 不同生态系统的涵养水源价值

Table 16 Water conservation value in different ecosystems

生态类型	总价(亿元)	比例(%)	单价(元/ hm^2)
涵养水源价值	竹林	7.29	4.74%
	阔叶林	22.47	14.62%
	混交林	1.39	0.90%
	针叶林	76.94	50.07%
	灌丛	15.13	9.84%
	农田	29.53	19.21%
	草地	0.32	0.21%
	城镇	0.17	0.11%
	水体	0.00236	0.002%
未利用地	0.44	0.29%	644.93

对于不同生态类型的单位面积价值，竹林单位面积价值最大为 1380.51 元/ hm^2 ，针叶林次之，接着为灌丛、农用地、水体、混交林、阔叶林，单位面积价值最小的为未利用地。这说明竹林涵养水源功能最好，而草地和未利用地涵养水源功能最差，福建省天然草地已经逐渐消失继而被人工植被代替，这种由天然到人工的变更导致其涵养水源功能的下降。所以说增强未利用地和草地的涵养水源功能能更好的体现福建省生态资产价值。混交林涵养水源的单价为 1029.22 元/ hm^2 ，但因混交林的面积小，导致其涵养水源价值仅为全部涵养水源价值的 1.4% 左右，同样情况的还有水体和竹林。

福建省涵养水源价值与降雨蓄积量呈线性关系，其高低值分布和降雨蓄积量分布一致，涵养水源价值分布最高的地方为三明市西部地区，主要包括建宁县、宁化县、明溪县、泰宁县、将乐县和清流县，除此之外还包括宁德地区的柘荣县、周宁县、屏南县、福鼎市以及南平的建瓯市；低值主要分布在东南沿海地区，包括福州、莆田、泉州、厦门、漳州和龙岩市等沿海地区；中值主要分布在三明、南平和宁德地区中高值除外的部分。由此可见，福建省涵养水源价值总体分布是西北山区生态资产价值比较高，东南沿海地区比较低，相对于经济发达的东南沿海地区西北山区工业经济欠发达，人口密度低，植被覆盖度高。

(四) 水土保持价值

水土保持价值一般采用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力、

减少土地废弃和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价水土保持的价值^[58,63]：

$$V(x) = V_1(x) + V_2(x) + V_3(x) \quad (30)$$

$V(x)$ 为在像元 x 处每年的水土保持价值(元)； $V_1(x)$ 为在像元 x 处每年保护土壤肥力的价值(元)； $V_2(x)$ 为在像元 x 处每年减少土地废弃损失的价值(元)； $V_3(x)$ 为在像元 x 处每年减轻泥沙淤积损失的价值(元)。

水土保持中的保土量与保土措施的面积、保土定额以及侵蚀模数成正比，其计算公式为^[58]：

$$T_{gt} = \Delta \delta_g * A_g / (\rho h) \quad (31)$$

$$T_{gt1} = \Delta \delta_g * A_g \quad (32)$$

$$\Delta \delta = \delta - \delta_1 \quad (33)$$

其中： T_{gt} 为保土表面积 (m^2)； T_{gt1} 为保土量 (T)； δ 为潜在侵蚀模数 ($T/hm^2 \cdot a$)； δ_1 为实际侵蚀模数 ($T/hm^2 \cdot a$)； A_g 为覆盖类型面积 (m^2)； ρ 为土壤密度，取全国平均土壤密度 $1.185T/m^3$ ^[47]； h 为土壤层厚度，根据统计，福建省不同土壤具有不同厚度，具体见表格：

表 17 不同植被类型土壤侵蚀模数^[48]

Table 17 soil erosion modulus of different vegetation types

植被类型	无林地侵蚀模数	实际侵蚀模数	$\Delta \delta$	覆盖面积 m^2
针叶林		7.8	312	56642423290
阔叶林		0.5	319.3	21968727450
草地		0.93	319.8	439882425
灌木	319.8	0.52	319.28	12014489865
竹林		0.5	319.3	5279852578
混交林		0.5	319.3	1345554572
农田		3.1	316.7	24357387846

表 18 福建省不同土壤类型厚度^[20] (m)

Table 18 The thickness of different soil types in Fujian Province (m)

类型	赤红壤	红壤	黄壤	水稻土	石灰土	山地草甸土	潮土	风沙土
厚度	1.1	0.96	0.81	1	0.76	1	0.69	0.99

1. 保持土壤肥力价值

保持土壤肥力的计算是根据保持的土壤中的氮、磷、钾的含量来估算保持土壤

肥力的价值^[40]。

$$V_1 = T_{gt1} * C_i * P_i \quad (34)$$

式中: V_1 为保持土壤肥力价值 (元); T_{gt1} 为保土量 (T); C_i 为土壤中有效氮磷钾含量, 具体见下表; P_i 为氮磷钾的价格, 其中氮为 400 元/T, 磷为 350 元/T, 钾为 300 元/T。

表 19 不同植被类型下 N, P、K 含量表 (T/T)

Table 19 The N, P, K content in different vegetation types

项目	林地	灌丛	草地	农用地	裸地	水域
氮 N	0.00418	0.013294	0.013289	0.0132455	0.013273	0.004204
磷 P	0.00089	0.000092	0.000093	0.0000885	0.000091	0.000901
钾 K	0.00181	0.008904	0.008908	0.0088945	0.008909	0.001802

2. 减少土壤损失价值

保持土壤价值是从农业收益方面计算保持下来的土壤带来的价值^[45], 计算公式为

$$V_2 = T_{gt1} * r_{gt} \quad (35)$$

式中, V_2 为保持土壤价值, r_{gt} 为农业平均收益, 其中林地平均收益为: 263.58 元/ $hm^2 \cdot a$; 草地平均收益为: 245.5 元/ $hm^2 \cdot a$; 农田平均收益: 500 元/ $元/hm^2 \cdot a$

3. 减轻泥沙淤积价值

采用劳力成本法, 即假设未采取任何水土保持措施时, 淤积在河道中的泥沙采用人工清淤, 其所需的费用表示采取该措施后所带来的价值^[44], 计算公式为

$$V_3 = T_n * r_n = T_{gt} * 24 \% * r_n \quad (36)$$

式中: V_3 为减轻泥沙淤积价值, 元; T_n 为减小泥沙淤积量, t ; r_n 为人工清淤费用, 在这里为 2.5 元/ m^3 。

4. 福建省水土保持价值

(1) 福建省土壤保持量

表 20 不同生态类型的土壤保持量

Table 20 The quantity of soil conservation of different ecological types

植被面积 (m^2)	土壤保持量 (t)		土壤保持面积 (m^2)		%	
	%	%	%	%		
针叶林	56642423290	46.41	156156977.8	8.21	44181090.17	6.08
阔叶林	21968727450	18	548796174.6	28.87	1098436.37	0.15
草地	439882425	0.36	12375629.19	0.65	40909.07	0.001
灌木	12014489865	9.84	326891924.1	17.19	624753.47	0.089

农田	24357387846	19.96	657633512.1	34.59	7550790.23	1.04
竹林	5279852578	4.33	152149313.9	8.01	263992.63	0.04
混交林	1345554572	1.1	47158981.2	2.48	672777286	92.6
总计	1.22048E+11	100	1901162513	100	726537257.9	100

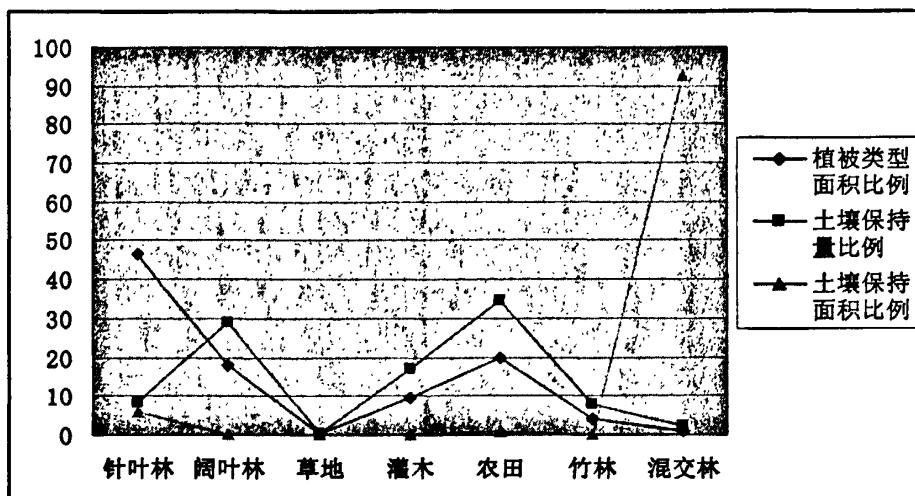


图 25 对比分析图

Fig 25 Comparative analysis

结果表明福建省土壤保持总量为 1901162513 吨, 其中针叶林土壤保持量为 156156977.8 吨、阔叶林为 548796174.6 吨、草地为 12375629.19 吨、灌丛为 326891924.1 吨、农田土壤保持量为 657633512.1 吨、竹林土壤保持量为 152149313.9 吨, 混交林为 47158981.2 吨。

在土壤保持量中农田占有比例最大为 34.59%, 阔叶林占有比例为 28.87%, 草地占有比例最小为 0.65%; 针叶林占有福建省植被总面积的 46.41%, 但土壤保持量和土壤保持面积却占有不到其总的 10%, 这说明针叶林的水土保持最好。其余植被类型的土壤保持量和植被面积均称正比, 而各植被类型土壤保持面积比例分布极为不均, 其中混交林占到 90%多, 其次为针叶林占 6.08%。

表 21 福建省不同生态系统的水土保持价值 (一)

Table 21 Soil and Water Conservation value of different ecosystems in Fujian Province

亿元		竹林	阔叶林	混交林	针叶林	灌丛	农田	草地
保持	n	2.82	11.73	0.72	29.55	20.40	40.87	0.75
土壤	p	0.53	2.19	0.14	5.51	0.13	0.24	0.01
肥力	K	0.92	3.81	0.24	9.60	10.25	20.59	0.38

价值	合计	4.27	17.73	1.09	44.66	30.78	61.70	1.13
减少土壤损失价值		0.04	0.15	0.02	0.04	0.09	0.33	0.01
减轻泥沙淤泥价值		1.01	4.21	0.26	10.61	2.30	4.63	0.09
总价		5.31	22.09	1.36	55.32	33.17	66.69	1.21

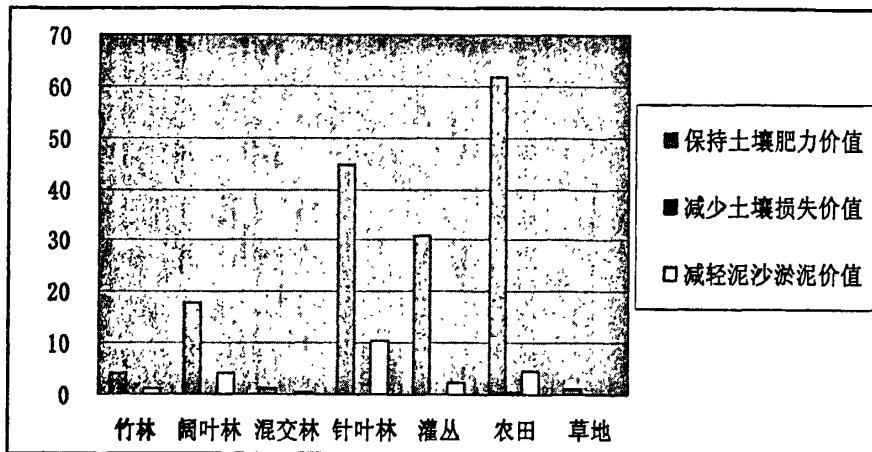


图 26 福建省不同生态系统类型水土保持价值 (二)

Fig 26 Soil and Water Conservation value of different ecosystems in Fujian Province

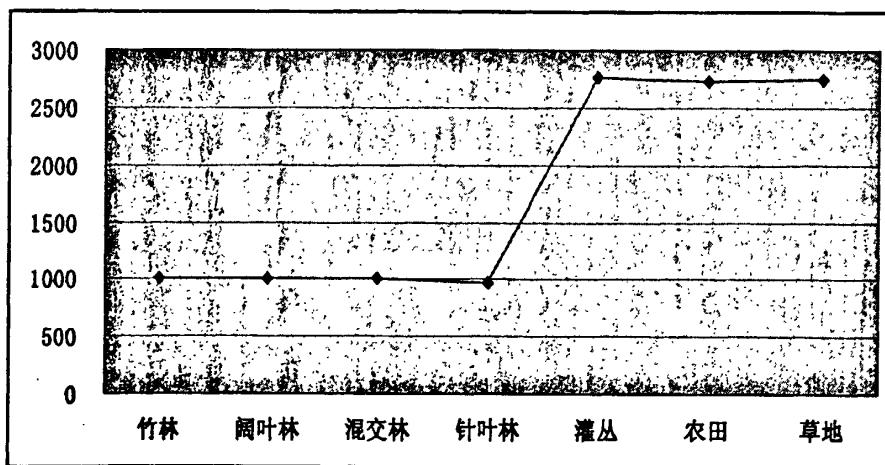
图 27 福建省不同生态系统类型水土保持单价 (元/h m²)

Fig 27 the unit value of Soil and Water Conservation of different ecosystems in Fujian province

不同植被覆盖类型的水土保持总价值是:农田>针叶林>灌丛>阔叶林>竹林>混交林>草地。然而由于每种植被覆盖类型的面积不一样,对于不同植被覆盖类型的总价值大小比较具有一定的局限性,所以还应该进行单位面积价值比较大小,不同植被

覆盖类型的单位面积价值排序大小为：灌木>草地>农田>竹林>阔叶林>混交林>针叶林。对于不同植被，其水土保持单价可分为两个量级，第一种为草地，灌丛和农田，它们的单位面积水土保持价值相差不大，分别为 $2759.68 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 、 $2736.34 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 和 $2755.74 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ；其余的为第二种，分别为阔叶林、竹林、混交林和针叶林，它们的单位面积价值也相差分毫，基本相等，可见森林生态系统的水土保持单价基本为同一水平，不会因为树种的不同而变化差异大。

福建省水土保持总价值为 185.15 亿元，占福建省生态资产总价值的 9.31% 左右，其中保持土壤肥力价值为 141.36 亿元，占水土保持价值的 87.16%；减少土壤损失价值为 0.68 亿元，仅占总价值的 0.37%；减轻泥沙淤积价值为 23.12 亿元，占总价值的 12.48%。由此可见，在水土保持价值中，保持土壤肥力的价值占主要部分，而农田的保持土壤肥力价值又最高，其次为针叶林和灌丛。在减轻泥沙淤泥价值中针叶林价值最高，其次为农田和阔叶林。

3.4 福建省生态资产评估结果统计与分析

3.4.1 生态资产评估结果统计

（一）不同指标的价值对比

2005 年福建省生态资产总价值约为 1988.14 亿元，其中组成生态类型价值评估指标的各类指标价值比例见图 28，由图可以看出，各类指标价值的大小关系是：气候调节价值>有机物价值>水土保持价值>涵养水源价值>营养物质循环价值。其中气候调节价值在生态资产总价值中占有分量最大为 60% 左右，由此可见气候调节作用对生态资产的贡献大小，其次为有机物价值约占总价值的 16%，这两种评估指标的价值成为福建省生态资产价值的主要构成部分，而营养物质循环价值占生态资产总价值不足 1%，所占比重很小，几乎可以忽略。

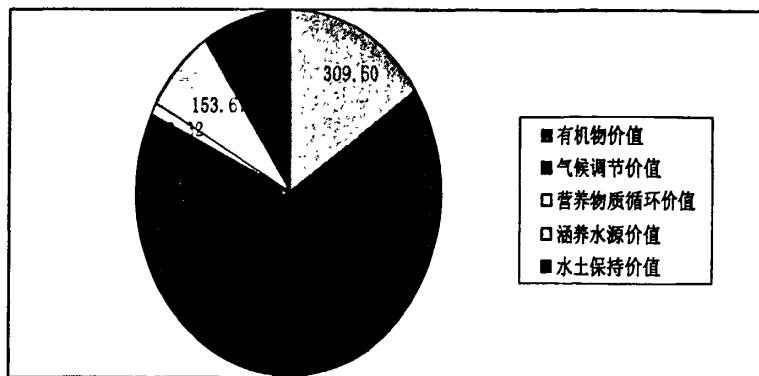


图 28 福建省不同指标的价值对比图 (亿元)

Fig 28 The value of different indicators comparison chart (billion)

(二) 不同生态系统的价值对比

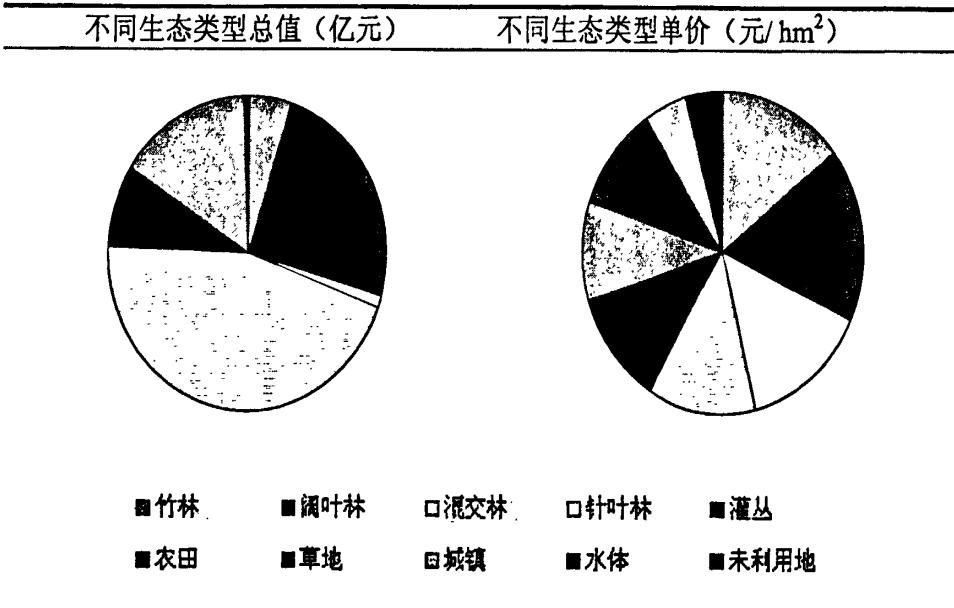


图 29 不同生态系统价值对比

Fig 29 Comparison of different eco-system value

从图 29 可以看出，针叶林单位面积资产价值并不高但其生态资产价值却最高，这与其面积比例分不开，因为在所有生态类型中，针叶林所占面积最大，面积优势使其资产占有比例最大。除此之外农田、阔叶林的生态资产价值也较高，而城镇、水体、未利用地生态资产价值很低，基本上没有自然资源和生态资产服务功能。

福建省素有八山一水一分田的美称，具有着丰富的森林资源。在福建省生态资产中森林资源所具有的生态资产价值占福建省生态资产总价值的 84.3%，可见森林资源对福建省生态资产的贡献之巨大，在福建省生态效益发挥中占主要地位，所以说保护森林资源，保护生物多样性是生态环境建设的重要内容。

(三) 不同服务功能的价值对比

表 22 福建省自然资源价值与生态服务功能价值对比表

Table 22 Comparison Table between natural resources value and ecological service value

自然资源价值	占生态资产总价值比例 (%)	生态服务功能价值	占生态资产总价值比例 (%)	service value
竹林	15.80	0.79%	80.87	4.07%
阔叶林	83.47	4.20%	405.17	20.38%
混交林	4.01	0.20%	20.08	1.01%
针叶林	142.61	7.17%	748.38	37.64%
灌丛	23.99	1.21%	151.30	7.61%
农田	38.52	1.94%	265.38	13.35%
草地	0.82	0.04%	5.05	0.25%
城镇	0.23	0.01%	1.14	0.06%
水体	0.00081	0.00004%	0.01	0.0003%
未利用地	0.16	0.01%	1.16	0.06%

生态资产价值由自然资源价值和生态服务功能价值组成, 经计算得出福建省生态资产价值中生态系统服务功能价值贡献率最大, 生态系统服务功能价值为 1678.53 亿元, 占总生态资产总价值的 84%, 而自然资源价值为 309.06 亿元, 仅占生态资产总价值的 16%。Constanza 把生态资产价值评估指标分为 17 大类, 但由于数据和技术等条件的限制, 本文仅在生态资产评估指标中选择了有机物质、气候调节、营养物质循环、涵养水源和水土保持五个指标, 所以计算的结果值会比实际中偏小。

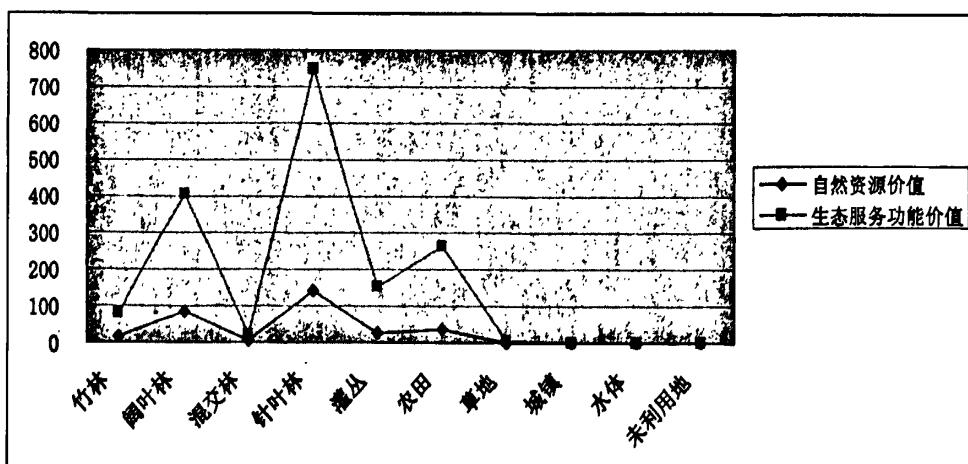


图 30 自然资源价值与生态系统服务功能价值对比表

Fig 30 Comparison between natural resources value and ecological service value

在不同生态系统类型中，针叶林的生态系统服务价值占有比重最大，相应的其自然资源价值占有比例也最大；水体的自然资源价值占有比例最小，其生态服务功能价值占有比例也最小；除了阔叶林以外，其他生态类型的自然资源价值占有比例与其生态服务功能占有比例成正比；草地、城镇与未利用地的自然资源价值和其生态服务功能价值均很低，这一结论和其他学者的研究结论一致。

（四）单位面积生态资产价值

福建省05年单位面积生态资产平均值为14246.47元/ hm^2 ，而对于不同生态类型的生态资产平均价值，阔叶林的平均价值最高为25007.574元/ hm^2 ；其次为竹林，平均价值为20591.45元/ hm^2 ；再次为混交林，其单位面积生态资产价值为20132.81元/ hm^2 。林地包括竹林、阔叶林、混交林和针叶林，由图表显示可知这几种林地的平均生态资产价值比其他种类都要高，这说明森林的单位面积生态资产价值高，对生态资产总价值贡献率大，所以保护森林资源有利于提高生态资产价值；城镇、水体和未利用地的平均生态资产价值最低，合理开发未利用地、绿化城市有利于增加福建省生态资产价值。

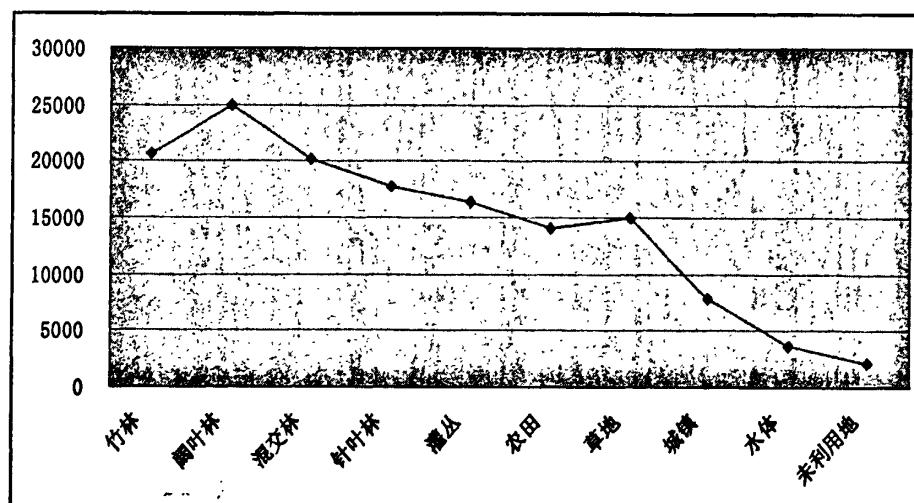


图 31 福建省不同生态系统单位面积生态资产价值
Fig 31 the ecological asset value of per unit area of Different ecosystems in Fujian Province

3.4.2 生态资产空间分布

福建省生态资产价值总体分布范围为：低值区主要分布在沿海、沿河流地区以及城镇密集地区，这些地方普遍现象是人口多，经济发达，交通便利，人为活动剧烈，环境质量差，生态环境脆弱；高值区主要分布在太姥山、戴云山、玳瑁山、博平岭山区，这些地方植被覆盖率高，在涵养水源，补充地下水，抑制蒸发，调节河川流量，调节气温变化等都具有显著的功能，所以这些地方的生态资产价值最高；由图还可以看出高值区主要分布在三明和南平地区的交界处以及次沿海地段，这是因为次沿海地带阔叶林分布最为密集，阔叶林的单位面积生态资产价值又最高，所以高值区会出现在次沿海地带；整体来说福建省单位面积生态资产价值较高，除了沿海地段单位面积生态资产分布较均。

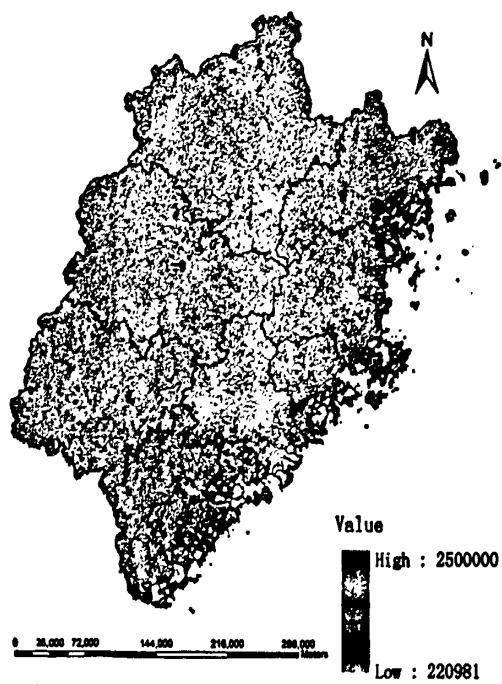


图 32 福建省生态资产分布图 (元/ hm^2)

Fig 32 Distribution of ecological assets in Fujian Province (yuan/ hm^2)

由福建省生态资产空间分布图可以知道福建省生态资产价值与土地利用类型有紧密联系，林地，园地和草地利用类型的生态资产价值较高，而居民用地，工矿用地、交通用地和未利用地的生态资产价值较低。福建省土地利用类型分布状况是沿

海地区建筑工矿用地面积较多,内陆地区森林植被面积较大,而福建省生态资产价值分布也是沿海低内地高。

3.4.3 生态资产与GDP对比分析

表 23 福建省不同地区生态资产价值与国民生产总值
Table 23 The ecological assets value of different regions and gross national product

	生态资产总值 (亿元)	生态资产均值 (元/ $h m^2$)	国民生产总值 (亿元)	人均GDP (元)
福州市	190.63	10007.33	1476.31	22301
莆田市	68.44	5258.38	359.91	12854
泉州市	179.10	16170.21	1626.3	21427
厦门市	38.00	3036.90	1006.58	44737
漳州市	211.71	139262.97	628.53	13402
宁德市	206.69	17857.77	343.6	11266
南平市	416.66	15828.30	348	12083
三明市	365.24	95310.09	392.84	14909
龙岩市	311.66	13572.62	385.63	14105

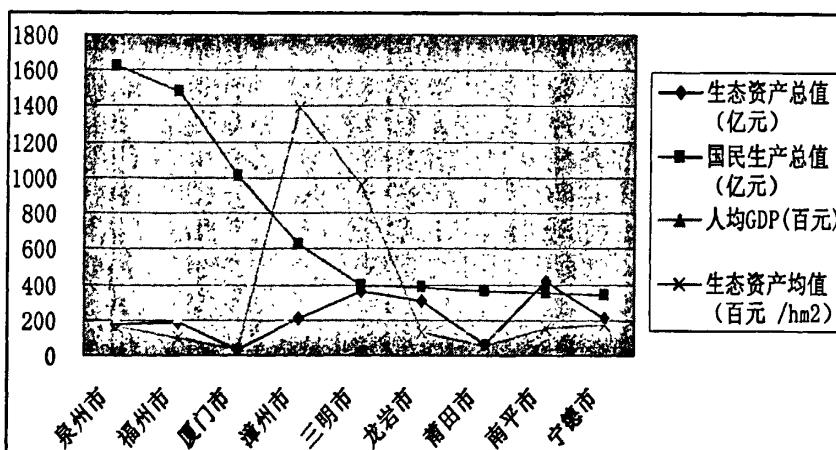


图 34 福建省生态资产价值与国民生产总值对比表
Fig 34 The comparative chart between ecological assets value of different regions and gross domestic product

福建省不同地区生态资产总值大小关系是:南平市>三明市>龙岩市>漳州市>宁德市>福州市>泉州市>莆田市>厦门市。从生态资产价值大小可以看出,生态资产价值最高的地区在福建内地山区,而位于沿海的泉州市、莆田市和厦门市生态资产最低,所以说福建省生态资产价值分布总体上符合从内地到沿海递减规律。对于国民

生产总值大小关系为：泉州市>福州市>厦门市>漳州市>三明市>龙岩市>莆田市>南平市>宁德市。国民生产总值分布规律总体上符合从沿海到内陆递减的规律，除宁德市除外。

只对不同地区生态资产总值和国民生产总值进行比较大小不够全面，还需要对其单位面积价值进行对比分析。福建省不同地区生态资产单价大小排序为：漳州市>三明市>宁德市>泉州市>南平市>龙岩市>福州市>莆田市>厦门市，而人均 GDP 大小排序为：厦门市>福州市>泉州市>三明市>龙岩市>漳州市>南平市>莆田市>宁德市。通过大小对比可以看出来，单位面积生态资产价值高值和低值分布与人均 GDP 大小分布相反，如厦门市单位面积生态资产价值最低，但其人均 GDP 最高。

经过分析可以知道福建省生态资产价值与 GDP 大小基本成反比关系，泉州市 GDP 最高，人均 GDP 第三，其生态资产总值列最后三位；厦门市的生态资产总值最低，生态资产均值也最低，相反厦门市 GDP 排列第三，人均 GDP 最高；而对于三明、南平和宁德地区，国民生产总值、人均 GDP 和生态资产相对大小比较稳定，而单位面积的生态资产大小三明地区远远大于南平和宁德地区。厦门市的城市化水平最高，其单位面积的生态资产价值最低，这是因为厦门市经济最为发达，人口密集，人类对环境的改变最大，土地利用类型以城镇用地和工矿用地面积最大，所以它的单位面积生态资产价值最低，相反三明、南平、宁德地区经济贡献较低，城市化程度，工业化程度以及经济发展程度较低，人口密度低，植被覆盖度高，生态环境好，其单位面积生态资产价值则较高，这充分说明了人为活动对生态资产价值的影响。

虽然说生态资产价值和国民生产总值呈反比关系，但国民生产总值只是其中影响因素之一，生态资产价值除受经济影响外还受土地利用类型面积，温度，降雨等因素的影响，例如漳州市单位面积生态资产价值最高但其人均 GDP 在排序中位于中等，三明市单位面积生态资产较高其人均 GDP 也属于中上等级。

3.5 结果验证与分析评价

3.5.1 结果验证

姚成胜在土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响中

得出福建省林地生态系统单位面积的生态价值为 21599 元/ hm^2 ^[50], 而本文中林地生态系统单位面积价值为 20854.99 元/ hm^2 , 这与姚成胜得结论相近。金燕在仙居县生态资产评估及其社会经济的关系研究中对赵同谦的计算结果进行修正得到林地单位面积生态资产价值 18386.67 元/ hm^2 ^[51], 本文林地平均值为 20854.99 元/ hm^2 , 这和本文计算所得出的结果相差不大, 由于仙居县位于福建省北部, 水热气候有差异, 所以说计算结果会有差异。潘耀忠^[17], 谢高地^[15]等根据 Constanza 单位生态价值当量进行修正得出我国平均状态下的生态服务价值单价: 林地 19334 元/ hm^2 , 草地 6406.05 元/ hm^2 , 农田 6144.3 元/ hm^2 , 水体为 40676 元/ hm^2 , 而本文中的草地和农田以及水体的单位面积生态资产与其结论相差较大, 这是因为潘耀忠和谢高地等人针对中国整个研究区进行计算, 没有考虑到地域差异, 福建省属于亚热带, 水热条件好, 受雪灾、旱灾、冻灾等自然灾害的影响比北方或西北地区要少, 并且福建省草地四季常绿, 耕地一年两熟或两年三熟, 植被丰富多样, 所以福建省草地和农地单位面积生态资产价值大于全国平均水平属于合理范围。

国内一些学者根据 Constanza 的生态资产单位价值进行修正计算的水体单位价值比较高, 这是因为 Constanza 在计算水体的单位生态资产价值时不是纯水体, 已经包括了水域边上的杂草和部分湿地, 而本文中的水体为较为纯粹的水体范围, 所以说本文和 Constanza、潘耀忠、谢高地等人的计算结果差别较大。

孙文泉在长江三角洲地区生态资产评估中指出 2005 年浙江省单位面积生态资产价值为 18660 元/ hm^2 , 安徽省单位面积生态资产价值为 10075 元/ hm^2 ; 金燕在仙居县生态资产评估及其社会经济的关系研究中计算出浙江省仙居县 2004 年单位面积生态资产为 19200 元/ hm^2 ^[52]; 本文中计算出福建省生态资产单位面积价值为 14246.47 元/ hm^2 。由各研究区的生态资产单位面积价值大小可以看出, 福建省单位面积生态资产价值计算结果合理, 但由于生态资产价值估算没有统一的标准, 不同人在研究生态资产时选取的评价指标和参数会有不同, 所以难免计算结果会存在一定的变化幅度。

3.5.2 影响因素分析与评价

(一) 气候因素

气候变化如温度、辐照度、水分等能影响生态系统的质量状况和生产能力, 特

别是那些对环境依赖性比较强的生态系统，如农田、草地等。

万物生长都离不开阳光、温度和水分等气候因子，所以说生态系统与气候有着紧密的联系。福建省属于亚热带季风气候，年平均气温在15-22℃之间，温度适宜，年平均降雨在1000-2200mm，降雨丰富，所以说福建省具有良好的水热条件，适合作物生长，各种生态类型长势良好。福建省降雨分布受地形地势影响明显，多雨区主要分布在武夷山、鹫峰山区、戴云山、博平岭地区，而这些地方又是生态资产价值分布最高的地区，可见降雨对生态资产的影响巨大。

（二）人为因素

人类活动（人口变化、城市扩张、经济结构的变化）主要对生态系统的质量和占有面积上有影响，通过影响不同生态系统的面积和质量使其生态资产增加或减少。比如，人类对森林的砍伐，对林地的破林变耕以及不能及时补栽幼苗等而导致土壤流失、生态系统破坏，使其单位面积森林生产力变小，从而使其自然资源价值和生态服务功能价值减小，最终导致森林的单位面积生态资产价值降低。由计算结果可知福建省沿海地区经济发达，人为活动频繁，而这些地方的生态资产价值最低；相反福建省内陆山区，人口稀少，经济发展缓慢，这些地区生态资产价值却最高；

（三）政府政策因素

政府对土地利用构成具有宏观调控和引导作用，经济发展和生态环境如何选择一个平衡点，工矿用地的增加所带来的经济利益与生态环境破坏的矛盾如何去协调，这些都需要深入讨论。

随着经济的发展，建筑用地越来越多，建筑用地的增多必然会导致林地、草地、耕地等的减少，而由前面的计算我们已经知道建筑用地的单位面积生态资产价值很小，土地面积总量又是一定的，所以发展经济和城镇化的扩张必然降低生态资产价值。由福建省生态资产空间分布图可以知道福建省生态资产价值与土地利用类型有紧密联系，林地，园地和草地利用类型的生态资产价值较高，而居民用地，工矿用地、交通用地和未利用地的生态资产价值较低。福建省土地利用类型分布状况是沿海地区建筑工矿用地面积较多，内陆地区森林植被面积较大，而福建省生态资产价值分布是沿海低内地高。

第4章 结论与展望

4.1 结论

本文从生态学、地理学角度出发，依托遥感和 GIS 技术建立起生态资产遥感模型，对福建省进行生态资产测量。量化福建省生态资产对更好的进行海西生态建设提供依据，可以更好的为生态补偿和绿色 GDP 核算提供依据。

(1) 建立了基于遥感的福建省生态资产评估模型，经验证分析此模型适合福建省生态资产估算，并能对结果给予合理的解释。

(2) 福建省生态资产价值为 1988.14 亿元，生态资产平均价值为 $14246.47/\text{hm}^2$ 。生态资产空间分布除沿海地区值较低以外，福建省生态资产总体状况良好。对于不同生态系统，林地生态资产价值为 1675.67 亿元，农田生态资产价值为 303.9 亿元，其他类型生态资产价值共为 8.57 亿元。所以说福建省生态资产价值主要为林地和农用地的生态资产价值。对于不同生态类型的平均价值，阔叶林的平均价值最高，为 $25007.5 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ；其次为竹林，平均价值为 $20591.4 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ；再次为混交林，其单位面积生态资产价值为 $20132.8 \text{ 元}/\text{hm}^2$ ；城镇、水体和未利用地的平均生态资产价值很低均没有超过 $10000 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 。

(3) 全面系统的分析了福建省各评估指标的价值，各生态系统的生态资产价值，为福建省生态文明建设提供依据，为人和环境的和谐发展提供借鉴和参考。

虽然计算出福建省生态资产价值但在做的过程中还有很多不足之处，主要有：

(1) 在生态资产评价指标选择上还不够完善，对于生态资产评价指标比较通用的是 Costanza 的评价指标，Costanza 认为生态资产服务共有 17 大类，然而 Costanza 的指标系统存在非一一映射关系，一级分类指标和二级分类指标存在交叉现象。针对现在生态资产的研究成熟状况和本人所具有的数据和技术等条件限制，本文只选择了比较稳定成熟和认可的 5 类评价指标，即：有机物质、气候调节、营养物质循环、涵养水源和水土保持五类，而对于生态资产还有很多评价指标，论文没有给予考虑，这样会影响到计算结果的精度。

(2) 参数取值存在误差, 基于光能利用率模型的生态资产估算参数众多计算复杂, 虽然已有大量的学者对每个取值参数取值进行了研究和对比分析, 但是却无法形成统一的参数大小。本文在前人的研究基础上选择比较合理的参数进行计算, 但由于参数众多, 每个参数的选择都会对最后结果存在一定的影响。

(3) 数据处理存在误差, 本文涉及到大量的数据运算, 遥感数据、气象数据、地形数据都有涉及, 在处理过程中无可避免会出现一些误差。

(4) 本文只计算了福建省 2005 年的生态资产价值, 在时间尺度上没有一个可比性和动态性, 只能静态的描述福建省生态资产价值, 这无疑成为一个遗憾和缺陷。

4.2 创新点

尽管已经有很多人研究生态资产, 但对于福建省的生态资产研究还属于首次, 所以说意义重大, 研究结果可以为福建省政府决策提供依据和参考。

(1) 对遥感驱动力模型 (光能利用率模型) 进行改进, 根据不同的植被类型进行最大光能利用率取值来计算生态资产核心参数 NPP。最大光能利用率取值一般因植被类型的不同而取值不同, 而最大光能利用率取值对计算 NPP 的结果存在很大影响, 在现有的研究中, 对最大光能利用率取值一直都没有确定一个统一的标准。很多研究学者没有根据不同植被类型分别取值, 而是统一取一固定值, 这对计算结果造成一定的误差, 针对此问题, 本文在最大光能利用率取值选择上考虑了植被类型, 根据不同的植被进行光能利用率取值。

(2) 构建基于遥感的生态资产评估模型。生态资产评估方法有很多, 但本文采用了最近新发展起来的遥感的方法进行估算。遥感方法相对于传统的方法不仅成本较低容易获取并且还可以进行一些生态参数的反演。

(3) 很多生态资产估算研究是基于单价修正基础上的, 没有根据研究区自身的生态特征进行计算, 本文是由研究区的 MODIS 数据、地形数据、气象数据、植被数据、土壤数据以及经济数据计算得出的, 没有采用 Costanza 等人得单价指标直接进行修正计算, 所以说计算出来的结果更加符合事实。

参考文献

- [1] National Research Council Committee on Assessing and Valuing the Services of Aquatic and Related Terrestrial Ecosystems. *Valuing ecosystem services: toward better environmental decision making*[M].M.New York: The National Academies Press,2004.
- [2] Daily G C,Eds. *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem*[M]. Island Press,Washington D.C. 1997.
- [3] Costanza R,d'Arge R,Groot R,et al. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*[J]. *Nature*,1997,387:253—260.
- [4] David Pimentel, et al. *Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States*[J]. *BioScience*. 2000,50(1):53-56.
- [5] Peters Ca, Gentry AH, Mendelsohn RO. *Valuation of Amanzonian rainforest*[J]. *Nature*,1989,339:655-656.
- [6] Tobias D,Mendelsohn R. *Valuing ecotourism in a tropical rainforest reserve*[J]. *Ambio*,1991,20:91-93 .
- [7] Hanley N D,Ruffell R J. *The contingent valuation of forest characteristics:two experiments*[J]. *J Agric Econ*, 1993,44:218-229.
- [8] Turner K. *Economics and wetland management*[J].*Ambio*,1991,20(2):59-61.
- [9] Barbier E B. *Valuing environment functions:tropical wetlands*[J].*Land Economics* ,1994,70:155-157.
- [10]赵景柱,肖寒,吴刚.生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. *应用生态学报*,2000,4 (2) :290—292.
- [11]欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].*应用生态学报*,1999,10(5): 635-640.
- [12]黄兴文,陈百明.中国生态资产区划的理论与应用[J].*生态学报*,1999 ,19(5):602 -606.
- [13]陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].*科学通报*,2000,45 (1) :17-22.
- [14]王健民,王如松.中国生态资产概述[M].南京:江苏科学技术出版社,2001.

- [15] 谢高地, 鲁春霞等. 全球生态系统服务价值评估研究进展 [J]. 资源科学, 2001, 23(6):5-9.
- [16] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量 [J]. 中国科学:D辑, 2004, 34(4):375—384.
- [17] 史培军, 潘耀忠, 陈云浩等. 多尺度生态资产遥感综合测量的技术体系 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(2):169—173.
- [18] 陈志良, 吴志峰, 夏念和等. 中国生态资产估价研究进展 [J]. 生态环境, 2007, 16(2):680-685.
- [19] 李京, 陈云浩, 潘耀忠等. 生态资产定量遥感测量技术体系研究 [J]. 遥感信息, 2003, 8:8-11.
- [20] 李贵才. 基于 MODIS 数据和光能利用率模型的中国陆地净初级生产力估算研究 [D]. 中国科学院遥感应用研究所, 2004.
- [21] 胡艳琳. 基于 GIS 下宁波天童森林生态系统服务功能价值评估研究 [D]. 华东师范大学, 2005.
- [22] 焦彩霞. 基于遥感和 GIS 的湿地生态资产定量研究-以里下河洼地宝应县为例 [D]. 南京师范大学, 2008.
- [23] 刘阳, 吴钢, 高正文. 基于土地覆盖 / 利用模式的云南省抚仙湖流域生态资产评估 [J]. 生态学报, 2007, 27(12):5282-5290.
- [24] 李昭阳, 汤洁, 孙平安等. 松嫩平原生态资产遥感测量与生态分区研究 [J]. 生态环境, 2005, 12:122-127.
- [25] 高吉喜, 范小杉. 生态资产概念、特点与研究趋向 [J]. 环境科学研究, 2007, 20(5):137-141.
- [26] 戴波. 生态资产与可持续发展 [M]. 北京: 人民出版社, 2007.
- [27] London J, Park J. Man's impact on the global environment: assessment and recommendation for action report of the study of critical environmental problems [M]. Cambridge MA: MIT Press, 1970.
- [28] Sun rui , Zhu qi -jiang. Distribution and seasonal change of net primary productivity in China from April, 1992 to March, 1993 [J]. Acta Eographica Sinica, 2000, 55(1):36-45.
- [29] J.A. 麦克尼利. 《保护世界环境多样性》 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1991.

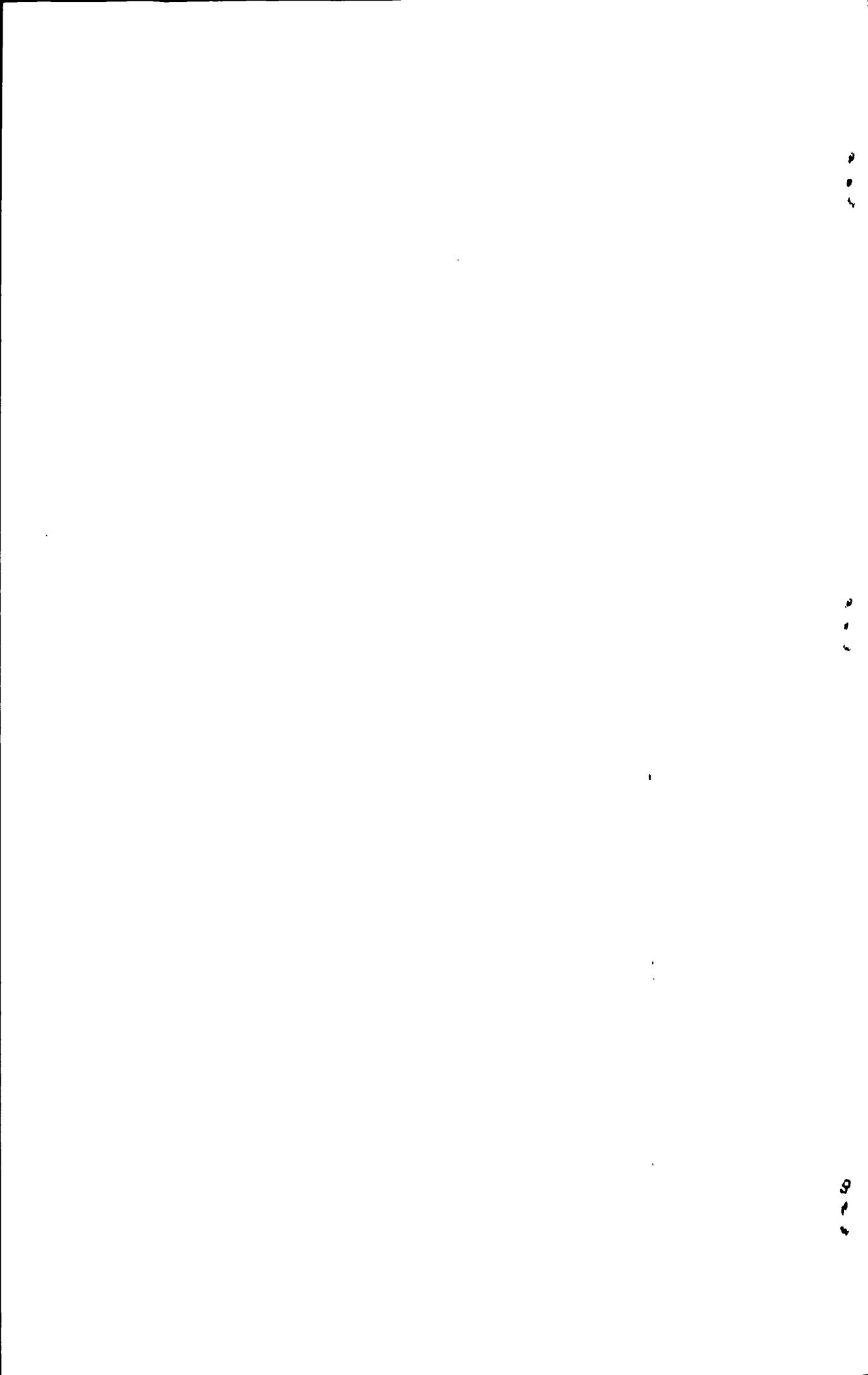
- [30] Jeffrey A. McNeely. Economics and biological diversity: developing and using economic incentives [M]. St.Mary Press,1988.
- [31]国家环境保护总局.中国生物多样性国情研究报告[R].北京:中国环境科学出版社,1997.
- [32]张志强,徐忠民,龙爱华等.黑龙江流域张掖市生态系统服务恢复价值评估研究-连续性和离散型条件价值评估方法的比较[J].自然资源学报,2004,19 (2) :230-239.
- [33]胡聃.从生产资产到生态资产—资产—资本完备性[J].地球科学进展,2004,19 (2) :289—296.
- [34]于德永,潘耀忠,刘鑫,等.湖州市生态资产遥感定量测量及其在社会经济中的应用[J].植物生态学报,2006,30(3) :404-413.
- [35]蔡晓禾.福建省 1961-2006 年气候变化特征[D].福建师范大学,2008.
- [36]李慧.福建省森林生态系统 NPP 和 NEP 时空模拟研究[D].福建师范大学,2008.
- [37]Lieth h,Whittaker RH.Primary Productivity of the Biosphere[M].New York: Springer Verlad Press,1975.
- [38]Ruimy A,Saugier B.Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotrly sensed data[J].Journal of Geophysical Research,1994,97, 18515-18521.
- [39]朱文泉,潘耀忠,何浩,于德永,扈海波.中国典型植被最大光利用率模拟[J].科学通报,2006,3,51 (6) :700-706.
- [40]牛建明.内蒙古主要植被类型与气候因子关系的研究[J].应用生态学报,2000,11 (1) :47-52.
- [41]Field C B, Randerson J T ,Malmstrom C M. Global Net Primary Production : Combining Ecology and Remote Sensing[J]. Remote Sciensing of Environment, 1995,51:74-88.
- [42]朴世龙,方精云,郭庆华.利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J].植物生态学报,2001,25 (5) :603-608.
- [43]周广胜,张新时.全球变化的中国气候-植被分类研究[J].植物学报, 1996,38 (1) :8-17.
- [44]金燕,黄敬峰,官泉水等.仙居县生态资产评估及其社会经济的关系研究[J].科技通报, 2009,25 (1) :1-6.

- [45]潘耀忠,史培军等.中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量[J].中国科学 D 辑地
球科学,2004,34(4):375-384.
- [46] Running, S.W., P. E.Thornton, R. Nemani, et al. Global Terrestrial Gross and Net
Primary Productivity from the Earth Observing System, in Methods in Ecosystem
Science[M]. O. Sala, R. Jackson, and H.Mooney,Editors. New York: Springer-Verlag,
2000: 44-57.
- [47] 徐丹.基于 CASA 修正模型的中国植被净初级生产力研究[D].北京师范大学
大学,2005.
- [48] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 基于 NOAA-AVHRR NDVI 和 GIS 的广东植被光能利用
率及其时空格局[J]. 植物学报,2001, 43 (8) :857-862.
- [49] 刘琳, 林逢春. 安徽森林生态系统服务功能经济价值评估 [J]. 科技咨
询,2006,33:86-87.
- [50] 姚成胜, 朱鹤健. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的
影响[J]. 自然资源学报,2009.02,24 (2) :225-232.
- [51] 金燕, 黄敬峰, 官泉水等. 仙居县生态资产评估及其社会经济的关系研究[J]. 科技通
报,2009,25 (1) :1-6.
- [52] 孙文泉, 邓磊等. 长江三角洲地区生态资产评估 [J]. 资源科学.2008.09.30
(9) :1367-1373.
- [53] 韩维栋, 高秀梅, 卢昌义等. 中国红树林生态系统生态价值评估 [J]. 生态科
学,2000,19(1):40-46.
- [54] 蒋延玲, 周广胜. 中国主要森林生态系统盛益的评估 [J]. 植物生态学
报,1999,23(5):426—432.
- [55] 国家环境保护总局. 中国生物多样性国情研究报告[R].北京:中国环境科学出版
社,1997.
- [56] 何浩, 潘耀忠, 朱文泉等. 中国陆地生态系统服务价值测量 [J]. 应用生态学
报,2005,16(6):1122-1127.
- [57] Nancy E. Bockstael. Modeling economics and ecology: the importance of a spatial
perspective[J]. American journal of agricultural economics,1996, 1168--1170.
- [58] Pearce D, Atkinson G Capital theory and the measure of sustainable development: an
indicator of weak sustainability[J]. Ecological Economics, 1993,8 , 103 - 108.
- [59] Los SO,Justice CO,Tucker CJ.A global 1° by 1° NDVI dataset for climate studies

- derived from the GIMMS continental NDVI data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15, 3493-3518.
- [60] Potter C B, Randerson J T, Field C B, et al, Terrestrial Ecosystem Production: A Process Model Based on Global Satellite and Surface Data[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4):811-841.
- [61] 张志明. 计算蒸发量的远离与方向[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1990.
- [62] 张新时. 植物的 PE 指标与植被-气候分类 (二) —— 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植被生态学与地植物学学报, 1989, 13 (13) :197-201.
- [63] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 基于 GIS 和 RS 的广东陆地植被生产力及其时空格局 [J]. 生态学报, 2001, 21(9):1144-1145.
- [64] 余新晓, 吴岚等. 水土保持生态服务功能价值估算[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6 (1) :83-86.
- [65] 周晓峰. 森林生态功能与经营途径[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.

攻读学位期间承担的科研任务与主要成果

- 1、2008年7月-10月，参与福建省科技计划重点项目《MODIS 卫星数据在福建生态环境与灾害监测中的应用研究》，编号 2006Y0008：福建省三江流域（闽江，晋江，九龙江）
- 2、2009年5-7月，参与福建省自然科学基金计划资助项目(W0750001)：福建沿海生态环境监测
- 3、2009年8-10月参与课题：福建沿海土地利用变化分析。
- 4、2009年10月，参与福建省长泰县环境评估项目
- 5、发表论文情况：
 - 基于 3S 的福建闽江流域生态环境监测 2008 年科学合理用地 人地和谐相处 2008 年 9 月年学术年会
 - 水稻叶绿素与反射光谱的研究进展 《现代农业科学》 2009.07
 - 基于 MODIS 数据的福建三大流域生态环境遥感监测 2009 年 6 月中国环境科学学会 2009 年学术年会
 - Ecological environment remote sensing monitor of min river basin based on MODIS 2009 年 9 月 the 6th International Symposium on Digital Earth



致 谢

岁月如梭！转眼间，三年的研究生求学生活即将结束，站在毕业的门槛上，回首往昔，奋斗和辛劳成为丝丝的记忆，甜美与欢笑也都尘埃落定。福建师范大学以其优良的学习风气、严谨的科研氛围教我求学，以其博大包容的情怀胸襟、浪漫充实的校园生活育我成人。值此毕业论文完成之际，我谨向所有关心、爱护、帮助我的人们表示最诚挚的感谢与最美好的祝愿。

本论文的工作是在导师沙晋明教授的悉心指导下完成的。沙老师以他敏锐的洞察力、渊博的知识、严谨的治学态度、精益求精的工作作风和对科学的献身精神给我留下了刻骨铭心的印象，在攻读硕士的这三年里，沙老师不仅为我创造了优越的科研和学习环境，同时在思想上、人生态度和意志品质方面给予了谆谆教诲，这些教益必将激励着我在今后的人生道路上奋勇向前。同时还要感谢气象研究所张春桂老师、李小梅老师、张友水老师、陈文慧老师、陈松林老师、余明老师、林广发老师以及李慧老师等对我论文的关心和帮助，使得我的论文能够顺利完成，再次深表感谢。

除此之外还要感谢我的好朋友罗火钱、温小欢和舍友们，是她们一直给我精神支持，在我遇到困难时帮我渡过难关；还要感谢我的同门谢磊和师弟师妹，感谢你们在我论文写作过程中对我的帮助，所有的这一切都令我感动，在此像他们表示最真挚的谢意！

还有要感谢我们 GIS 实验室的兄弟姐妹们，正是有你们的相伴，我们的学习研究生活更加丰富多彩，气氛愉快活跃。

衷心的感谢我的家人和亲朋好友对我的关心、支持和理解，没有他们对我的关心、鼓励和支持，我无法完成现在的硕士学业。

最后，感谢曾经教育和帮助过我的所有老师。衷心地感谢为评阅本论文而付出宝贵时间和辛勤劳动的专家和教授们

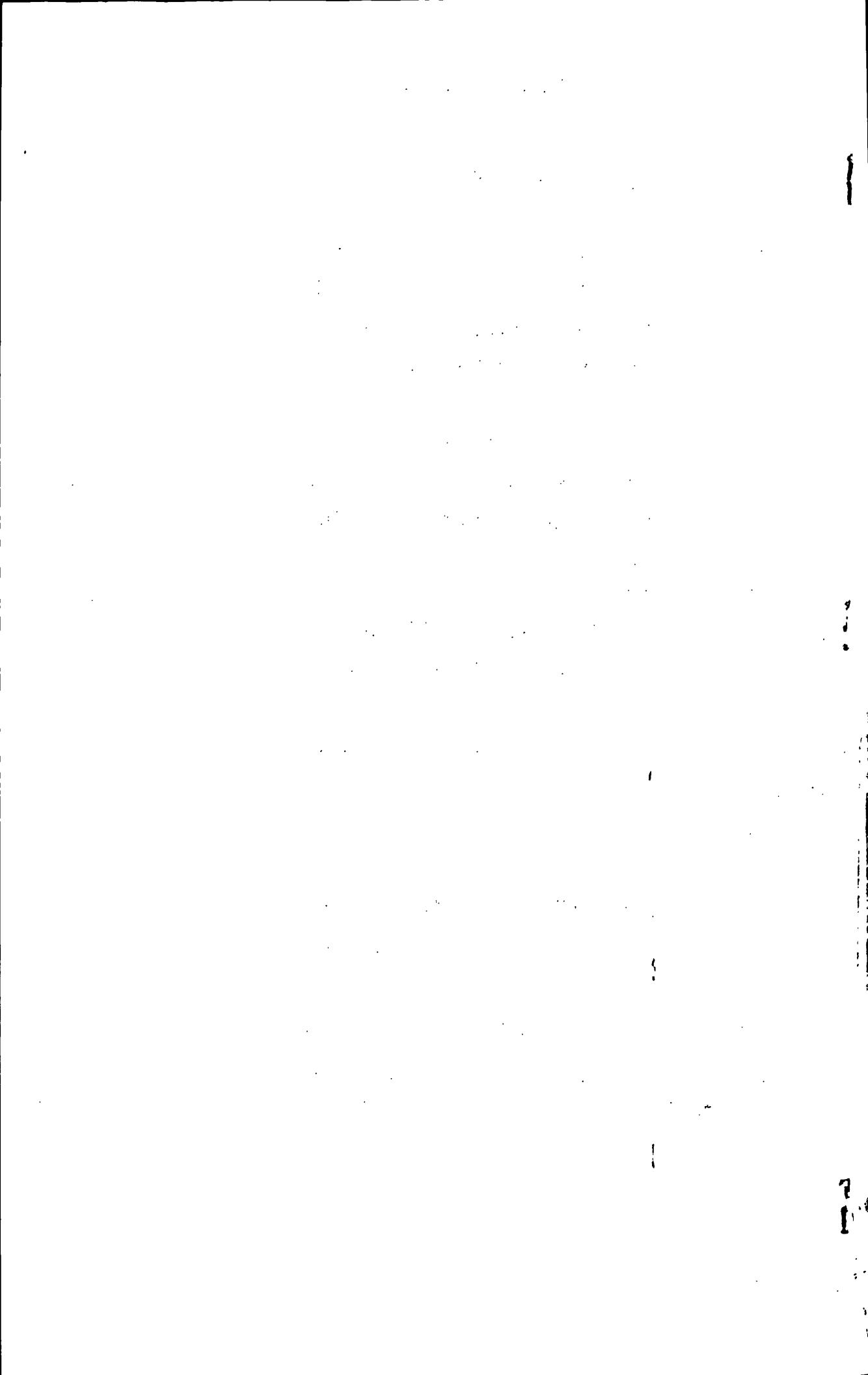
李计英

二零一零年于福州



个人简历

	姓名: 李计英	性别: 女	
	籍贯: 山东邹城	民族: 汉	
	政治面貌: 中共党员	学历: 硕士	
	专业: 地图学与地理信息系统	方向: 遥感与地理信息建模	
学习经历			
时间	学校	专业	学位
2003.9-2007.6	鲁东大学地理与规划学院	地理信息系统专业	理学学士
2007.9-2010.7	福建师范大学地理科学学院	地图学与地理信息系统	理学硕士



福建师范大学硕士学位论文独创性和使用授权声明

本人（姓名）李计英 学号2010942 专业地图学与地理信息系统 所呈交的学位论文（论文题目：福建省生态资产遥感估算）是本人在导师指导下，独立进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除论文中已特别标明引用和致谢的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本论文的研究工作做出贡献的个人或集体，均已在论文中作了明确说明并表示谢意，由此产生的一切法律结果均由本人承担。

本人完全了解福建师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：福建师范大学有权保留学位论文（含纸质版和电子版），并允许论文被查阅和借阅；本人授权福建师范大学可以将本学位论文的全部或部分内容采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文，并按国家有关规定，向有关部门或机构（如国家图书馆、中国科学技术信息研究所等）送交学位论文（含纸质版和电子版）。

（保密的学位论文在解密后亦遵守本声明）

学位论文作者签名：李计英

指导教师签名：谢海云

签字日期：2010年6月5日

签字日期：2010年6月5日

